

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

**SISTEMAS DE CULTIVO E COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE CARBONO E
NITROGÊNIO EM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)**

TALITA ROBERTA FIREMAND DE LIRA MENOR

Zootecnista

RECIFE – PE

MARÇO-2018

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

**SISTEMAS DE CULTIVO E COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE CARBONO E
NITROGÊNIO EM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)**

TALITA ROBERTA FIREMAND DE LIRA MENOR

RECIFE – PE

MARÇO-2018

TALITA ROBERTA FIREMAND DE LIRA MENOR

**SISTEMAS DE CULTIVO E COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE CARBONO E
NITROGÊNIO EM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)**

Tese submetida como requisito para
obtenção do grau de **Doutora em
Zootecnia**, no Programa de Doutorado
Integrado em Zootecnia subprograma da
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Área de concentração: Forragicultura

Comitê de Orientação:

Prof. Mário de Andrade Lira, PhD

Profa. Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Dra.

Prof. José Carlos Batista Dubeux Júnior, PhD.

RECIFE – PE

MARÇO-2018

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

M547s Menor, Talita Roberta Firemand de Lira
Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio em palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) / Talita Roberta Firemand de Lira Menor. – 2018.
166 f. : il.

Orientador: Mário de Andrade Lira.
Coorientadores: Mércia Virginia Ferreira dos Santos, José Carlos Batista Dubeux Júnior.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba, Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências e apêndice(s).

1. *Opuntia* 2. Semiárido 3. Composição isotópica
4. Espaçamento 5. Produtividade 6. *Nopalea* I. Lira, Mário de Andrade, orient. II. Santos, Mércia Virginia Ferreira dos, coorient. III. Dubeux Júnior, José Carlos Batista, coorient.
IV. Título

CDD 636

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

**SISTEMAS DE CULTIVO E COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE CARBONO E
NITROGÊNIO EM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)**

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 31 de janeiro de 2018.

Presidente _____

Professora Mércia Virginia Ferreira dos Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Zootecnia

Comissão Examinadora:

Pesq. Dr. José Nildo Tabosa
Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA

Prof. Márcio Vieira da Cunha
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Zootecnia

Pesq. Dra. Maria da Conceição Silva
Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA

Dr. Toni Carvalho de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco - PNP/DFRPE
Departamento de Zootecnia

RECIFE- PE

MARÇO-2018

OFEREÇO

A Deus,

A Emerson Garrett Menor, e a minha família, pelo amor, cuidado e confiança doados em todos os momentos.

DEDICO

Ao meu esposo Emerson Garrett, pelo incentivo, determinação e amor.

A minha Avó Amara, pelo exemplo de força e coragem.

Aos meus pais por toda esforço, confiança e dedicação.

As minhas irmãs, pela motivação.

As minhas tias, pela dedicação, amor e incentivo.

Ao meu filho por não me deixar desistir.

Ao Professor Mário de Andrade Lira, pela atenção, paciência, orientação e ensinamentos.

A Professora Mércia Virginia Ferreira dos Santos, pela dedicação, orientação e ensinamentos.

Aos Professores, pelos ensinamentos.

*Confia em Deus e Ele continuará conduzindo você seguramente através de tudo. Onde não puder
caminhas, Ele o carregará nos braços.*

São Francisco Sales

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de qualquer coisa, pelo privilégio de me proporcionar condições de desenvolver este trabalho.

Ao meu esposo, Emerson Garrett Menor, que sempre esteve ao meu lado me incentivando e me encorajando cada vez em que os obstáculos persistiam, e essa jornada que parecia impossível de prosseguir ser concluída. Sou grata por todo seu empenho em colaborar com a minha formação e pelo amor dedicado.

Ao meu filho Guilherme de Lira Menor, por me fazer conhecer um amor incondicional, que me move, me ilumina e me fortalece, me fazendo sempre seguir em frente. Fazendo-me entender o verdadeiro sentido da vida. Amo-te até a lua, indo e vindo...

À minha família, pela dedicação, cuidado, incentivo e amor.

A minhas tias Rosa, Rosana, Rose (*in memoriam*), Rosália, Núbia, Ziane, Silvia, Márcia, (em especial) Rosália Lira e Rosana Lira que estavam mais perto, pelo empenho, dedicação, amor e apoio em todos os momentos.

As minhas irmãs Tawana Firemand e Thaysa Firemand, por todo amor e dedicação.

A minha mãe Fátima Maria e meu pai Roberto Lira, pelo amor e incentivo.

A minha avó paterna Amara Coelho de Lira, pelo exemplo de força, amor e amizade.

A minha avó materna Aracy Firemand, pelo exemplo de fé e perseverança.

A minha sogra Eny Garrett Menor, Daniel Garrett e Alessandra, pelo amor dedicado e incentivo.

A minhas primas Camilla Mirela e Rarissa Maiara, por acreditarem em mim, pelo amor e incentivo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, pela oportunidade de realizar toda a minha formação acadêmica.

Agradeço a todos os colegas da graduação e Pós-Graduação, em especial a turma de Forragicultura, pois sozinha não faria nada.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pelo suporte financeiro concedido.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em especial a Estação Experimental de Caruaru-PE, na pessoa do Supervisor Dr. Ivan Ferraz, pela disponibilidade do espaço e equipamentos e pessoal para a execução do experimento.

Ao trabalhador José Silva (Nem), pela força e empenho.

Ao meu orientador, Professor Mário de Andrade Lira, por todo conhecimento, dedicação, conselhos, orientação, lições, e sugestões recebidas. Obrigada por toda paciência do mundo para realização desse projeto, minha eterna gratidão.

A Professora Mércia Virginia Ferreira dos Santos, pela dedicação e orientação.

Ao Professor Jose Carlos Batista Dubeux Júnior, pelos conselhos e dedicação.

A Toni Carvalho, pela ajuda de todas as horas e amizade. E ao bolsista PNPD Osniel Faria, pela ajuda.

A todos os Professores do Departamento de Zootecnia da UFRPE, pelos ensinamentos e formação profissional.

A todos os amigos que fiz ao longo desses anos, principalmente a Cecilia Pinho Gabriela Pinheiro, Lucíola Vilarim, Carolina Monteiro, Amanda Galindo e Karina Miranda.

À banca examinadora, pela contribuição na melhoria do nosso trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	1
ABSTRACT	3
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
CAPÍTULO I	9
1. Referencial teórico.....	10
1.1. Importância da Palma forrageira para o semiárido Nordeste.....	10
1.2. Caracterização da Palma Forrageira.....	14
1.2.1. Estabelecimento da Palma Forrageira.....	20
1.2.2. Frequência de colheita e intensidade de corte.....	23
1.3. Composição isotópica do Carbono $\delta^{13}\text{C}$ e Nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ em plantas CAM.....	27
2. Referências Bibliográficas.....	33
CAPÍTULO II	39
Produtividade, morfologia e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda sob diferentes sistemas de cultivo	
1. Resumo.....	40
Abstract.....	41
2. Introdução.....	42
3. Material e métodos.....	44
4. Resultados e discussões.....	49
5. Conclusão.....	71
6. Referências bibliográficas.....	72
CAPÍTULO III	76
Produtividade, características morfológicas e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda sob duas frequências de colheita e adubação residual.	
1. Resumo.....	77
Abstract.....	78

2. Introdução	79
3. Material e métodos.....	81
4. Resultados e discussões.....	85
5. Conclusão.....	104
6. Referências bibliográficas.....	105

CAPÍTULO IV.....108

Composição isotópica de carbono $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ em clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)

1. Resumo.....	109
Abstract.....	111
2. Introdução	112
3. Material e métodos.....	115
4. Resultados e discussões.....	117
5. Conclusão.....	130
6. Referência Bibliográfica.....	131

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....133

APÊNDICE.....134

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1. Médias (número entre parêntese refere-se erro padrão) das características químicas do solo após dois anos de cultivo (julho/2013) da palma forrageira cv. Miúda em diferentes densidades de plantas.....47

Tabela 2. Coeficientes de correlação fenotípica entre as características morfológicas (altura e largura da planta, índice de área do cladódio, número de cladódio por planta) e a produtividade (t/ha/2anos) da palma forrageira cv. Miúda, na densidade de 41.668 plantas ha⁻¹62

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Teor total de Nitrogênio em clones de palma forrageira no Agreste Pernambucano nos anos de 2014 e 2016.....118

Tabela 2. Teor total de Carbono em clones de palma forrageira no Agreste Pernambucano nos anos de 2014 e 2016.....119

Tabela 3. Média da composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰), em clones de palma forrageira no Agreste Pernambucano nos anos de 2014 e 2016.....120

Tabela 4. Média da composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰), em clones de palma forrageira no Agreste Pernambucano nos anos de 2014 e 2016.....122

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Precipitação pluvial (mm) em Caruaru, Agreste de Pernambuco, durante o período experimental.....45
- Figura 2.** Número de cladódios por planta de palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.....50
- Figura 3.** Altura de plantas da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidades de plantas.....52
- Figura 4.** Largura de plantas da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.....53
- Figura 5.** Índice de área de cladódios (IAC) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.....55
- Figura 6.** Produtividade ($t\ ha^{-1}/MS/2$ anos) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.....57
- Figura 7.** Eficiência do uso da água ($kg\ de\ MS\ ha^{-1}\ 2\ anos^{-1}$) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.....59
- Figura 8.** Teor de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.....63

Figura 9. Teor de nitrogênio da forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.....65

Figura 10. Teor de cálcio em plantas da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.....66

CAPÍTULO III

Figura 1. Precipitação pluvial (mm) em Caruaru, Agreste de Pernambuco, durante o período experimental.....82

Figura 2. Número de cladódios por planta de palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.....85

Figura 3. Número de cladódios por planta de palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.....86

Figura 4. Altura da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.....88

Figura 5. Altura da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.....89

Figura 6. Largura da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis de adubação orgânica residual. As barras indicam erro padrão.....90

Figura 7. Largura da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.....91

Figura 8. Índice de área de cladódio da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.....92

Figura 9. Índice de área de cladódio da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.....93

Figura 10. Produtividade da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.....94

Figura 11. Eficiência do uso da chuva da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.....96

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Figura 12. Teor de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.....98

Figura 13. Teor de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.....99

Figura 14. Teor de potássio da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita bienal e adubação mineral residual. As barras indicam erro padrão.....101

CAPÍTULO IV

Figura 1. Precipitação pluvial (mm) em Caruaru, Agreste de Pernambuco, nos anos de 2014 e 2016.....115

Figura 2. Composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica.....124

Figura 3. Abundância total de C palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis de adubação orgânica residual e adubação mineral residual de 0 (a), 120 (b), 240 (c) e 360 (d) t/ha.....126

Figura 4. Teor total de C da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita (anual e bienal) e adubação mineral residual.....127

Figura 5. Teor total de C da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis de adubação mineral residual e frequência de colheita bienal.....128

RESUMO GERAL

A palma forrageira (*Nopalea* e *Opuntia*) apresenta o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), o que confere a essas plantas adaptações as condições adversas da região semiárida. Características morfológicas, produtivas, e composição mineral e isotópica podem ser afetadas pela densidade de plantio, frequência de colheita e níveis de adubação residual aplicados a essa cultura. O objetivo do primeiro experimento foi avaliar o efeito da frequência de colheita associado a diferentes densidades de plantio sobre o rendimento, eficiência de uso da chuva e composição química mineral da palma forrageira cv. Miúda no Agreste Pernambucano. O segundo experimento objetivou avaliar o efeito residual da adubação orgânica e nitrogenada da palma forrageira cv. Miúda na produtividade, eficiência do uso da chuva e características morfológicas, em duas frequências de colheita. No terceiro experimento objetivou-se avaliar a composição isotópica de clones de palma (*Opuntia* e *Nopalea*). Os experimentos foram instalados na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco IPA, em Caruaru – PE, no período de agosto de 2013 a agosto de 2015. No experimento 1, avaliou-se a combinação entre densidades de plantas (10.417; 20.833; 41.666 e 83.333 plantas ha⁻¹), e frequências de colheita (anual e bienal). O delineamento experimental foi o casualizados em blocos, com 4 repetições e arranjo de parcelas subdivididas, sendo a parcela principal formada pelas diferentes densidades de plantio e frequências de colheita. As variáveis avaliadas foram produtividade, eficiência do uso da chuva, número de cladódios por planta, índice de área de cladódios (IAC), altura e largura de plantas (cm), teores de MS, proteína bruta, Na, K, Ca e Mg. O aumento da densidade de plantio favoreceu a produtividade, que apresentou na densidade 10.417 plantas ha⁻¹ a produtividade de 9,42 t de MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹, e na densidade 83.336 plantas ha⁻¹ a produtividade foi de 30,01 t de MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹, recomendando-se a

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

densidade populacional de 83.336 plantas por hectare com frequência de colheita bienal. Os teores de matéria seca, nitrogênio e cálcio foram de: MS 71,2 e 85 g kg⁻¹; N 25,7 e 16,9 g kg⁻¹; Ca 12,4 e 9,4 g kg⁻¹ nas densidades de 10.417 e 83.336 plantas ha⁻¹, respectivamente. Os teores de sódio, magnésio e potássio foram: Na 0,003 g. kg⁻¹; Mg 0,0001798 g. Kg⁻¹; K 26,84 g kg⁻¹ na colheita bienal. A eficiência de uso da chuva na maior densidade de plantio foi de 32,23 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹. No experimento 2, avaliou-se o efeito da adubação orgânica e mineral residual em duas frequências de colheita, nas características morfológicas da palma forrageira cv. Miúda. O delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais (14,4 x 8,0 m) foram utilizadas para testar os níveis de matéria orgânica; as subparcelas (7,2 x 8,0 m) para avaliar as frequências de colheita e a subsubparcela (14,4 x 2,0 m) para avaliar os níveis de nitrogênio. As variáveis mensuradas foram produtividade (t ha⁻¹), eficiência do uso da chuva, matéria seca, número de cladódios por planta, índice de área de cladódios (IAC), altura de plantas, largura de plantas, teores de proteína bruta, MS, Na, K, Ca e Mg (g kg⁻¹). A medida que o nível de adubação orgânica residual aumentou, na frequência bienal, produtividade, eficiência de uso da chuva, altura e largura da planta, número de cladódios por planta e o índice de área de cladódios também aumentaram. No terceiro experimento, avaliou-se a composição isotópica de clones de palma (*Opuntia* e *Nopalea*). Para o ensaio preliminar com 20 clones de palma forrageira, foi utilizado um delineamento de blocos ao acaso com três repetições, contendo sete plantas por parcela, sendo 5 plantas na área útil e uma fileira por parcela, exceto na cultivar Miúda que apresentou três fileiras. O espaçamento utilizado foi de 1,0 x 0,5 m, com área total de 3,5 m² e área útil de 2,5 m². Os clones estudados apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -14,43 e -13,22‰, o que permite observar que os valores obtidos são típicos da fixação via PEP-

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

carboxilase e indicam que independentemente das condições ambientais e da idade da planta, a fotossíntese se dá pelo processo CAM, possivelmente com fixação de CO₂ durante a noite. Para a composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰), em clones de palma forrageira, não houve diferença significativa entre os períodos avaliados, havendo diferença significativa apenas entre os clones. Para o experimento com a palma forrageira cv. Miúda, o delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais (14,4 x 8,0 m) foram utilizadas para testar os níveis de matéria orgânica; as subparcelas (7,2 x 8,0 m) para avaliar as frequências de colheita e a subsubparcela (14,4 x 2,0 m) para avaliar os níveis de nitrogênio. A composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ da palma forrageira cv. Miúda não foi influenciada por nenhum dos fatores testados (adubação orgânica residual, adubação mineral residual e frequência de colheita). A média do valor isotópico $\delta^{13}\text{C}$ foi de -13,97, o indica que nas condições apresentadas a palma forrageira cv. Miúda comporta-se como uma planta CAM obrigatória. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram entre 13,71 e 12,99 e indicam ausência ou níveis mínimos de fixação biológica de N₂ atmosférico pela palma forrageira cv. Miúda.

Palavras-chave: eficiência de uso da chuva, ¹³C, isótopos, ¹⁵N, palma forrageira cv. Miúda

ABSTRACT

The cactus pear (*Nopalea* and *Opuntia*) presents the acid metabolism of crassulaceae (MAC), which gives these plants adaptations to the adverse conditions of the semiarid region. Morphological, productive and mineral and isotopic characteristics can be affected by planting density, harvest frequency and levels of residual fertilization applied to this crop. The objective of the first experiment was to evaluate the effect of harvest frequency and cut intensity associated with different planting densities on yield and mineral chemical composition of cactus pear cv. Miúda in Agreste Pernambucano. The second experiment aimed to evaluate the residual effect of organic and nitrogen fertilization of forage palm cv. Productivity and morphological characteristics and isotopic composition, at two harvest frequencies. In the third experiment the objective was to evaluate the isotopic composition of twenty palm clones (*Opuntia* and *Nopalea*). Both experiments were installed at the Experimental Station of the Instituto Agronômico de Pernambuco IPA, Caruaru - PE, from August 2013 to August 2015. The experiment 1 evaluated the combination of plant densities (10,417, 20,833, 41,666 and 83,333 plants ha⁻¹), harvest frequencies (annual and biennial). The experimental design was the randomized blocks, with 4 replications and arrangement of subdivided plots, being the plot formed by the different planting densities and the subplots by the factorial arrangement between harvest frequencies and cut intensities. The variables evaluated were productivity, number of cladodes per plant, cladodes area index (IAC), height and width of plants (cm), crude protein, Na, K, Ca and Mg (mg kg⁻¹). The increase in planting density favored productivity, which presented in the density 10,417 plants ha⁻¹ the yield of 9.42 t of DM ha⁻¹ 2 years⁻¹, and in the density 83,336 plants ha⁻¹ the yield of 30.01 t of MS ha⁻¹ 2 years⁻¹. the population density of 83,336 plants per hectare with biennial crop frequency is recommended. The contents of dry

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

matter, nitrogen and calcium were: MS 71,2 and 85 g kg⁻¹; N 25,7 and 16.9 g kg⁻¹; Ca 12,4 and 9,4 g kg⁻¹ at the densities of 10,417 and 83,336 plants ha⁻¹, respectively. The sodium, magnesium and potassium contents were: Na 0,00257 g kg⁻¹; Mg 0,01798 g Kg⁻¹; K 26,84 g kg⁻¹ in the biennial crop. Experiment 2 evaluated the effect of organic and mineral fertilization on two harvest frequencies, on the morphological characteristics and isotopic composition of the forage palm cv. Miúda. The experimental design was a randomized complete block design, with arrangement of sub - divided plots, with four replications. The main plots (14,4 x 8,0 m) were used to test the organic matter levels; the subplots (7,2 x 8,0 m) to evaluate the harvesting frequencies and the sub-plot (14,4 x 2,0 m) to evaluate the nitrogen levels. The variables measured were productivity (t ha⁻¹), dry matter, number of cladodes per plant, cladode area index (IAC), plant height, plant width, crude protein, Na, K, Ca and Mg (g kg⁻¹) and the isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. As the level of residual organic fertilizer increased, at biennial frequency, plant productivity, height and width, number of cladodes per plant and cladodes area index also increased. The $\delta^{13}\text{C}$ isotopic composition was not influenced by any of the factors tested (residual organic fertilization, residual mineral fertilization and harvest frequency). The average of the isotopic values $\delta^{13}\text{C}$ was -13,97 and indicate that under the conditions presented the forage palm cv. Miúda behaves like a mandatory CAM plant. The values of $\delta^{15}\text{N}$ ranged from 13,71 to 12,99 and indicate absence or minimum levels of biological fixation of atmospheric N₂ by Miúda palm. In the third experiment the isotopic composition of twenty palm clones (*Opuntia* and *Nopalea*) was evaluated. A randomized block design with three replications was used, containing seven plants per plot, with 5 plants in the useful area and one row per plot, except in the small cultivar that presented three rows. The spacing used was 1,0 x 0,5 m, with a total area of 3,5 m² and a floor area of 2,5 m². The clones studied present values

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

of $\delta^{13}\text{C}$ between -14.43 and -13.22 ‰, which allows to observe that the values obtained are typical of the PEP-carboxylase fixation and indicate that, independently of the environmental conditions and the age of the plant, the photosynthesis occurs through the CAM process, possibly with CO_2 fixation at night. For the isotopic composition of $\delta^{15}\text{N}$ (‰), in forage palm clones, there was no significant difference between the evaluated periods, with a significant difference only between the clones.

Keywords: ^{13}C , isotopes, ^{15}N , cactus pear cv. Miúda, rainfall efficiency

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A região Nordeste do Brasil apresenta características únicas no que se refere a distribuição de chuvas. As plantas dessa região são adaptadas e provavelmente desencadearam evoluíram de tal forma em que a economia de água foi priorizada, garantindo a permanência da planta.

As plantas que apresentam o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) são adaptadas para viverem em regiões áridas ou semiáridas, com alta demanda evaporativa atmosférica, elevadas temperaturas diurnas e baixas temperaturas noturnas, alta taxa de radiação e pouca água disponível no ambiente. O fechamento dos estômatos durante o dia minimiza a perda de água e apresentam alta eficiência no seu uso.

A palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), se destaca pelo elevado potencial produtivo e resistência a cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp), sendo a produção influenciada pela densidade de plantas, frequência de colheita, intensidade de corte, adubação, precipitação, entre outros.

Em muitos casos, espécies de palma forrageira apresentam respostas distintas em diferentes condições de cultivo. Os clones mais difundidos no Nordeste brasileiro são os clones Redonda, Gigante, IPA-20 e Miúda. Sendo mais recentemente também difundidos os cultivares Orelha de Elefante Mexicana e Orelha de Elefante Africana.

Análises isotópicas são consideradas uma importante ferramenta para traçar padrões no estabelecimento das vias de ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres. Os isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ ocorrem naturalmente na atmosfera, portanto, existe uma variação na composição isotópica no ambiente que é devido aos processos físicos e químicos de fracionamento isotópico. Conforme o metabolismo fotossintético, as plantas apresentam valores específicos $\delta^{13}\text{C}$. Tais valores indicam qual via metabólica está sendo

mais utilizada pela planta, tendo em vista que as variações ambientais influenciam fortemente esses processos.

Assim, a presente tese foi organizada em quatro capítulos. O primeiro com referencial teórico. O segundo refere-se ao experimento que objetivou avaliar o efeito da frequência de colheita e intensidades de corte associados a diferentes densidades de plantio sobre o rendimento e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda. O terceiro capítulo refere-se produtividade, composição mineral, morfologia da palma forrageira cv. Miúda sob efeito residual da adubação orgânica e mineral em duas frequências de colheita. O quarto capítulo refere-se à composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) em clones de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, e da palma forrageira cv. Miúda em diferentes sistemas de cultivo.

CAPÍTULO I
Referencial teórico

1. REFERÊNCIAL TEÓRICO

1.1. Importância da palma forrageira para o semiárido nordestino

O semiárido ocupa cerca de 10% do território nacional e 56,46% do território Nordeste (INSA, 2012), tendo como características singulares a errática distribuição de chuvas concentradas em três a cinco meses do ano, solos que geralmente apresentam características químicas adequadas, mas sofrem de limitações físicas, no que diz respeito à topografia, profundidade, pedregosidade e drenagem. A chuva varia de 300 a 700 mm anuais, dependendo da área, que causam severos danos à economia da região com custos sociais elevados.

As chuvas em poucos meses do ano, acarretam na estacionalidade da produção, com redução da disponibilidade de forragem no período seco, e impactos negativos sobre a viabilidade técnica e econômica da produção animal. Além disso, a pecuária do semiárido possui outros entraves, como a falta de recursos do sertanejo e a estrutura fundiária da região marcada pela predominância de propriedades de pequeno porte (Santos et al., 2016; Lira et al., 2017).

Os animais são criados extensivamente, alimentando-se da vegetação nativa expressando baixos índices zootécnicos. Nesse contexto, a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) torna-se uma importante alternativa para suplementação dos animais, considerando a acentuada redução de massa de forragem que ocorre durante o período seco do ano (Lira et al., 2017).

A pecuária praticada extensivamente pode ser responsabilizada por boa parte da degradação, sobretudo do estrato herbáceo, onde as modificações são percebidas pelo desaparecimento de espécies de valor forrageiro, aumento de plantas indesejáveis e arbustos indicadores da sucessão secundária regressiva (Morais e Vasconcelos, 2007).

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Das diversas famílias de plantas que existem nas regiões áridas e semiáridas, as plantas que apresentam o metabolismo ácido das crassuláceas, devido a sua alta eficiência no uso da água, acabam sendo uma ótima opção de aumento do rendimento agrícola nessas regiões. Dentre elas, de grande relevância agropecuária em várias regiões do mundo tem-se a palma forrageira, que possui adaptações fisiológicas, anatômicas e estruturais em condições adversas, (Silva et al.,2015).

O cultivo da palma forrageira é fundamental para essa região, devido a sua rusticidade e potencial produtivo em condições de pouca disponibilidade de água, tornando-se um recurso essencial para a alimentação animal, com alta capacidade de oferta de forragem, quando comparada a vegetação nativa da caatinga (Silva et al.,2014). Dificilmente outra forrageira conseguiria, em condições edafoclimáticas semelhantes, tais níveis de produção de matéria seca com forragem de igual qualidade.

A palma forrageira por tradicionalmente ser uma cultura semiperene de colheita bienal, quando conduzida em condições de sequeiro, ao longo do seu ciclo produtivo pode sofrer modificações no crescimento e no desenvolvimento em resposta as alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente (Silva et al., 2015).

Neste cenário de oscilação na oferta de alimento para os rebanhos devido à instabilidade climática, que limita as atividades agropecuárias, a palma forrageira destaca-se como planta forrageira ideal para minimizar os efeitos do baixo rendimento da pecuária no semiárido. Se bem manejada, é capaz de atingir altas produtividades, garantido a alimento para os animais e renda para os produtores.

No Brasil, há atualmente 600.000 ha cultivados com cultivares de palma (Dubeux et al., 2013). A sua importância como reserva forrageira, é significativa na sustentabilidade da pecuária regional, segmentos fortemente atingidos pela escassez de alimentos.

Os aspectos fisiológicos que tornam a palma uma opção interessante para as zonas áridas e semiáridas estão ligadas a cutícula impermeável, ao menor número de estômatos e ao aparelho fotossintético conhecido como metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que apresenta alta eficiência no uso da água, em virtude da absorção do CO₂ no período noturno e a transformação deste em biomassa pela luz do sol durante o dia (Ramos et al., 2011).

A eficiência no uso da água (kg de água/ kg de matéria seca) por parte das plantas CAM é muito superior às plantas de metabolismo C₃ e C₄. Em relação as plantas C₃ essa superioridade atinge até onze vezes (Dubeux et al., 2013).

As plantas CAM apresentam aproximadamente a relação de 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). Essa potencialidade está associada à capacidade de adaptação dessa espécie, que tende a apresentar modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais em condições adversas (Nobel e Bobich, 2002).

A capacidade de adaptação desta cultura aos ecossistemas áridos e semiáridos, também se expressa no seu potencial de armazenamento de água e nutrientes no período das chuvas, para serem usados na época seca, mais economicamente do que as culturas alternativas, suportando prolongados períodos de estiagem (Neves et al., 2010).

Locais em que as noites são mais frias e a umidade do ar elevada, com a possível ocorrência de orvalho, representam condições ótimas para o cultivo desta planta. Em localidades cujas noites são quentes e secas, a cultura perde muita água e seu desenvolvimento é prejudicado (Sampaio et al., 2005).

Vale ressaltar que, a palma forrageira assume papel importante na sustentabilidade das bacias leiteiras do Nordeste brasileiro, por ser um volumoso indispensável na dieta dos bovinos, caprinos e ovinos, independente da época do ano (Santos et al., 2013).

Segundo Nascimento et al., (2011), a palma forrageira apresenta alta palatabilidade e digestibilidade, e é fonte de água para os animais, além de ser uma cultura que apresenta bom rendimento nas condições do semiárido.

Devido ao baixo teor de matéria seca, as dietas formuladas com grandes proporções de palma forrageira, possuem aspecto favorável em regiões onde a água é escassa (Ferreira et al., 2012). Gebremariam et al., (2006), trabalhando com ovinos, ofereceram quatro níveis de palma em substituição ao feno (0; 22,84; 45,69 e 68,53%) e observaram aumento no consumo de matéria seca até 23,83% com a inclusão de palma forrageira. A queda observada no consumo de matéria seca a partir deste ponto foi atribuída à distensão física do rumem provocada pelo grande volume de água consumido via palma, o qual mais que duplica entre o tratamento com 22,84% e 45,69% de inclusão de palma. Assim ficou evidenciado que grande parte da água consumida pelos animais se deu via palma.

Estudo realizado por Lima et al., (2002), com vacas mestiças, produzindo aproximadamente 15 Kg de leite por dia, que recebiam 50% da dieta de palma forrageira, observou que os animais praticamente não bebiam água. Concordando com estudo realizado Cordova-Torres et al., (2017), que observaram que a restrição de água e a interação com os níveis de palma não teve influência no desempenho dos animais, observaram 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. Concluiu-se que a palma forrageira pode ser utilizada eficientemente como suplemento alimentar e fonte única de água na dieta.

O teor de umidade da palma forrageira é, em média, de 90%, permitindo que o consumo de água (L/dia) pelo animal seja reduzido, diminuindo assim a dependência de recursos hídricos já escassos no período de déficit hídrico (Dubeux et al., 2013).

Entre as espécies mais cultivadas a palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), quanto à produtividade, tem se mostrado inferior as cultivares gigante e redonda (Santos et al., 2006). No entanto, quando essa produção é considerada em termos de matéria seca, os resultados se equivalem, uma vez que a Miúda possui maior teor de matéria seca que as cultivares do gênero *Opuntia*. A cultivar Miúda apresenta resistência à cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* /Cockerell), que é atualmente a principal praga da cultura da palma no Nordeste do Brasil. Por esta razão, há uma tendência em aumentar a área de plantio com esta cultivar (Santos et al., 2010).

Segundo Silva et al., (2014), a palma forrageira cv. Miúda destaca-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.

É inegável o potencial significativo dessa cultura para contribuir no desenvolvimento das zonas áridas e semiáridas, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde a exploração racional e econômica de suas espécies ajudará na conservação do meio ambiente e segurança alimentar dos rebanhos.

1.2. Caracterização da Palma forrageira

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é uma importante cactácea para suplementação dos animais na região semiárida brasileira, considerando 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). Essa planta apresenta uma importante reserva estratégica, devendo ser utilizadas cultivares de palma resistentes a praga cochonilha do

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

carmim (*Dactylopius sp.*), sendo uma alternativa para associar ao uso do pasto, bem como para diminuir a área necessária para a manutenção de uma unidade animal em pastagem nativa (Santos et al., 2016).

Apresenta mecanismo fisiológico especial, no que se refere a absorção, aproveitamento e perda de água. Cultivada em diversos ambientes, apresenta grandes diferenças na sobrevivência e desenvolvimento da planta e no seu potencial de cultivo. Como outras plantas CAM, a palma abre seus estômatos a noite para conservar CO₂ acumulam e armazenam malato nos vacúolos. O resultado é um aumento na eficiência no uso da água e na capacidade da planta de prosperar em ambientes semiáridos, caracterizados pela ocorrência de longos períodos de seca e temperaturas relativamente altas, (Inglese et al., 2017).

O conhecimento das variáveis morfogênicas como altura, largura, taxa de brotação, alongamento e comprimento da planta, e largura, perímetro e espessura dos cladódios são de fundamental importância para se avaliar o potencial de adaptação de uma espécie ou variedade ao ambiente onde é cultivado. Sales et al., (2006), estudando cultivares de palma forrageira, observaram que as respostas das plantas, em termos de crescimento e desenvolvimento, são específicas para cada espécie vegetal e variam também com as variedades.

Silva et al., (2010), estudando a relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), observaram que é necessário conhecer os efeitos diretos e indiretos e as correlações entre a produtividade e características morfológicas para identificação de fatores que influenciam na produtividade. Essa correlação tem basicamente duas origens: a genética e o ambiente. Concluiu-se que em programas de melhoramento de palma forrageira visando acréscimo na produção de

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

matéria seca em toneladas por hectare a cada dois anos, deve-se priorizar a seleção de clones de maior altura e largura da planta.

A relação entre as características morfológicas como altura e largura da planta; índice de área do cladódio; comprimento do cladódio e o rendimento da planta representam um dado de grande importância para a compreensão da resposta da palma forrageira as condições do ambiente e cultivo (Pinheiro et al., 2014).

Vale ressaltar que tais informações permitem o acompanhamento do acúmulo forragem, os quais podem ser melhorados com as adequações do manejo adotado ao longo dos ciclos da cultura.

Lima et al., (2016), estudando as características morfológicas e produtividade da palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) irrigada e submetida a diferentes intensidades de corte, concluíram que a preservação dos cladódios secundários na colheita, promovem mais cladódios por planta e maior produtividade de forragem. Assim, representa uma alternativa de manejo que promove maior sustentabilidade do palmar. Além disso, as características morfológicas importantes, como altura e largura, também são influenciadas pelas menores intensidades de corte.

Silva et al., (2016), estudando a produtividade e eficiência da adubação orgânica da palma forrageira sob diferentes densidades de plantio, observaram um aumento na produtividade da planta com o aumento da densidade de plantio, conseqüentemente maior número de cladódios, o que pode ser explicado pelo maior número de plantas cultivados por unidade de área. Segundo Pimienta-Barrios et al., (2005), o cladódio é responsável pela produtividade da palma forrageira, porque em condições extremas de seca, tornam-se menores ou a emissão de novos cladódios é interrompida, reduzindo assim a perda de água e aumentando a sobrevivência das plantas.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Contudo, Neder et al., (2013), estudando as correlações e análise de trilha das características morfológicas e de produção em acessos de palma, relataram que a produção de matéria verde, número e a espessura dos cladódios podem ser utilizados na seleção de acessos da espécie *Opuntia ficus-indica*.

A aplicação de correlações lineares, por meio da análise de trilha é uma ferramenta que permite conhecer os efeitos direto e indireto, por exemplo, da influência das características dos cladódios sobre o índice de área de cladódio da planta e desses efeitos sobre a produtividade da palma (Silva et al., 2010). Esses mesmos autores concluíram, que a altura e largura da planta correlacionaram-se significativamente de forma positiva com a produtividade.

Amorim et al., (2015) estudaram as características morfológicas e produtivas de variedades de palma, e encontraram número médio de cladódios da palma forrageira cv. Miúda de 21,33. Mesmo esses cladódios sendo menores do que os de outras variedades se apresentam em maior quantidade, apesar do baixo teor de matéria seca verificado na palma forrageira, os altos valores na quantidade de água disponível por hectare, é um fator interessante em regiões semiáridas, principalmente nos períodos de estiagem e de falta de água.

Pereira et al., (2017), estudando o balanço de água no solo cultivado com clones de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, sob irrigação, 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. Scalisi et al., (2016), estudando a dinâmica de crescimento de cladódios em *Opuntia ficus-indica* sob seca, observaram que esta espécie

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

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.

Comumente usada para compor dietas em substituição a forragens tradicionais, a palma forrageira (Mahouachi et al., 2012) constitui uma alternativa fundamental para região semiárida, caracterizada pela escassez na produção de forragem (Donato et al., 2014). A palma pode melhorar o valor nutritivo de dietas de baixa qualidade, devido ao alto teor de carboidratos solúveis, também pode aumentar o ganho de peso em pequenos ruminantes e novilhas alimentadas com resíduo de colheita ou pastagens de baixa qualidade, desde que em pequena quantidade e uma fonte de proteína incluída na dieta (Dubeux et al., 2017).

Nas condições do semiárido brasileiro, a palma apresenta em média 617,9 g kg⁻¹ de carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais 62,0 g kg⁻¹. Porém, apresenta baixos teores de matéria seca 117,0 g kg⁻¹, proteína bruta 48,0 g kg⁻¹, fibra em detergente neutro 268,7 g kg⁻¹, fibra em detergente ácido 189,0 g kg⁻¹ e teores consideráveis de matéria mineral 120,4 g kg⁻¹. Portanto, recomenda-se sua associação a fontes proteicas e outros volumosos como fonte de fibra (Neves et al., 2010).

Silva et al., (2013), estudando a composição bromatológica de palma forrageira cv. Gigante cultivada em diferentes espaçamento e adubações químicas observaram aos 620 dias, teores médios de matéria seca 82,0 g kg⁻¹ e proteína bruta 97 g kg⁻¹ na matéria seca.

Em estudo realizado por Bispo et al., (2007), com a substituição do feno de capim elefante por palma forrageira concluíram que o uso de até 56% de palma forrageira em

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

substituição ao feno de capim elefante aumenta a ingestão e melhora o aproveitamento dos nutrientes em dietas para ovinos.

Batista et al., (2009), estudando a composição química e degradabilidade ruminal de palma forrageira (Gigante e Miúda) no Nordeste brasileiro, concluíram que os cultivares influenciaram minimamente a composição química e degradabilidade ruminal das plantas. Devido ao baixo teor de fibra e carboidratos moderados, a palma pode ser considerada uma boa fonte de carboidratos não fibrosos. Outro aspecto, é que a fração da parede celular seja altamente degradável no rúmen devido ao seu baixo teor de lignina. Assim, a palma deve ser fornecida em dietas que contenham suplementação adequada com proteínas e fontes de fibra efetiva.

No período chuvoso e com adequada disponibilidade de nutrientes, é de se esperar que a palma forrageira ajuste o padrão de captação de CO₂, aumentando a produtividade líquida, o que assegura maiores reservas para a seca (Donato et al., 2014).

Um aspecto relevante a ser levado em consideração, é a expansão do cultivo da palma nas últimas décadas. Esse fato tem proporcionado maior severidade quanto aos problemas sanitários. Sendo a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), pertencente à ordem Hemiptera, família *Dactylopiidae*, que produzem o corante carmim (Warumby et al., 2005) uma das principais pragas que assolam a palma forrageira.

Estudo realizado por Vasconcelos et al., (2009), com clones de palma forrageira, onde os mesmos foram selecionados quanto a sua resistência a cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp), concluíram que a palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) pode ser considerada imune, pois não permitiu o desenvolvimento do inseto. É possível que esse clone tenha apresentado uma resistência classificada como antibiose, que ocorre quando a planta tem efeito adverso sobre a biologia do inseto, provocando, por

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

exemplo, morte das ninfas. Constatando-se que os insetos não se fixaram sobre os cladódios dessa planta.

1.2.1. Estabelecimento da palma

A palma forrageira pode ser propagada via semente e vegetativamente, sendo esta última a forma mais utilizada como material de propagação, os quais preservam as características genéticas do material de origem. E o plantio via semente é utilizado em programas de melhoramento genético. Ao estabelecer um palmal, vários fatores devem ser considerados, incluindo: a variedade da palma, tipo do cladódio (primário, secundário ou terciário), números e posição de cladódios, tempo de plantio, espaçamento entre as plantas, método de plantio, controle de ervas daninhas, fertilização e ocorrência de pragas e doenças (Dubeux et al., 2017).

As técnicas de estabelecimento de uma cultura têm alta relação com a produtividade futura. A densidade de plantio da palma forrageira (*Nopalea* e *Opuntia*) como estratégia de manejo, é um ponto muito importante no estabelecimento de um palmal por definir a população de plantas, variando de acordo com a fertilidade do solo, pluviosidade, finalidade da exploração, consórcio a ser utilizado e a necessidade do produtor (Ramos et al., 2011). Plantios menos adensados facilitam os tratamentos culturais, no entanto o aumento dessa densidade tende a aumentar a produtividade dessa forrageira.

Cavalcante et al. (2014), estudando as respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo, concluiu que a densidade de cultivo influenciou na morfometria dos genótipos de palma estudados (Gigante, Redonda e Miúda) e a densidade de cultivo para 80.000 plantas ha⁻¹, proporcionou uma produtividade de aproximadamente 45 t de MS ha⁻¹/2 anos e, conseqüentemente, maior acúmulo de água e nutrientes por hectare a cada dois anos, em relação a menores densidade de plantio.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

A palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), cultivada no espaçamento de 1,0 x 0,5m e adubada com 20 t/ha de esterco bovino, produziu em torno de 75 t MV/ha/ano, o que corresponde a 9,4t MS/ha/ano. A cultivar do gênero *Nopalea*, é mais exigente quanto aos tratos culturais e demais condições ambientais, porém, apresenta maior teor de matéria seca, carboidratos solúveis e digestibilidade, quando comparada as plantas do gênero *Opuntia* (Santos et al., 2006).

O espaçamento está diretamente associado a interceptação de luz pela palma. Em densidades de plantio mais altas ocorre maior eficiência na interceptação de luz, conseqüentemente maior eficiência fotossintética e menor ação de plantas daninhas, quando comparadas a espaçamentos tradicionais, resultando maior eficiência dos recursos naturais por unidade de área cultivada. Entretanto, plantios menos adensados facilitam os tratos culturais e reduzem os riscos de pragas, como a cochonilha do carmim, espécie do gênero *Dactylopius* (Oliveira Júnior et al., 2009).

Segundo Santos et al., (2006), considerando dados obtidos em Caruaru e Arcoverde – PE com clones do gênero *Opuntia*, com população de 40 mil plantas/ha, observou-se produção de 320t MV/ha dois anos após o plantio. Com população de 20 mil plantas (1,0 x 0,5m), a produção foi de 240 t MV/ha e, com 5 mil (2,0 x 1,0m), de 104t MV/ha, a cada dois anos. Em cultivo com fileiras duplas de 3,0 x 1,0 x 0,5m, consorciada com sorgo, a produção de palma foi de 100 t MV/ha. Além disso, nesse sistema foram obtidas produções de 1,3 e 2,1t MS/ha/ano de grãos e restolhos de sorgo, respectivamente.

Silva et al., (2016), estudando a produtividade e eficiência da adubação orgânica da palma forrageira sob diferente densidade de plantio da palma forrageira Clone IPA-20 (*Opuntia ficus indica* Mill), verificaram a maior produtividade da parte aérea com o aumento da densidade de plantio e aplicação de 80 t de esterco/ha/dois anos, com valores

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

de 61; 90; 117 e 139 t MS/ha/dois anos, nas densidades de 20, 40, 80 e 160.000 plantas/ha respectivamente. A produtividade do cladódio-planta e peso seco da raiz também foram influenciados pela densidade de plantio, apresentando respostas exponenciais, tendendo a apresentar maior peso do cladódio planta e raízes por área com a elevação da densidade de plantio. Os autores concluíram que para aumentar a produtividade da palma Clone IPA-20, recomendam-se 40 t de esterco bovino ha⁻¹ a cada dois anos, para densidade de plantio com 160.000 plantas/ha.

Em colheitas anuais, a cultivar Miúda, tem produzido uma média de 10,6t MS/ha/ano e 77,8t MV/ha⁻¹ano⁻¹, adubada com 20 t de estrume de curral ha⁻¹ano⁻¹ e com densidade de 20 mil plantas ha⁻¹ (Santos et al., 2006). Com as colheitas subsequentes, esperam-se maiores produções, tendo em vista que o número de cladódios primários ou secundários distribuídos nas plantas será maior.

Sales et al., (2013), avaliando diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano, concluíram que as densidades de plantio da palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) influenciam a altura da planta e o número de cladódios por planta. Além disso, o incremento na densidade populacional da palma cv. Gigante, até 100.000 plantas por hectare, aumenta a produção de fitomassa por área, eficiência de utilização da adubação orgânica e índice de área de cladódio, nas condições ambientais estudadas.

Silva et al., (2010) estudaram a relação ente as características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira. Avaliando 50 clones dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, concluíram que as características altura associada a largura explicam melhor o potencial de produção de matéria seca em t/ha/2anos por apresentarem alta correlação com a produção e maior efeito direto.

Souza (2015), estudando sistemas de cultivo da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), observou que a maior densidade de plantas favorece a produtividade e o índice de área de cladódios. Recomendando a utilização de uma densidade populacional de 83.333 plantas ha⁻¹, com colheita bienal, e preservação dos cladódios primários.

De maneira geral, tem se verificado que o adensamento no cultivo da palma forrageira tem resultado em aumento de produção por área, embora se reconheça nesse sistema as dificuldades encontradas nos tratos culturais. Todavia, a adoção de um determinado espaçamento no plantio da palma forrageira pode ser uma decisão a ser tomada em função do sistema mais adequado para cada propriedade.

1.2.2. Frequência de colheita e intensidade de corte

A palma forrageira é também considerada uma reserva estratégica de forragem e, neste caso, a frequência de corte pode variar conforme a necessidade do produtor e das condições climáticas. A gestão da colheita da palma forrageira deve levar em consideração a intensidade de corte e a frequência da colheita. A interação entre esses fatores afeta o crescimento da planta e, de maneira geral, o aumento da frequência de colheita requer uma redução da intensidade de corte e esses dois fatores interagem com a população de plantas (Dubeux et al., 2017).

Após a colheita, a área fotossintética residual é essencial para que ocorra o rebrote do palmar. Ensaios com palma forrageira revelam um índice de área de cladódios muito baixo, que reduz a interceptação luminosa e o crescimento da planta. Nobel (1995) sugere um índice de área de cladódio entre 4 e 5 para aumentar a produtividade da palma, levando em consideração ambas as faces dos cladódios, quanto maior a população de plantas, maior será o IAC, resultando em maior produtividade quando nenhum outro fator for limitante.

Almeida (2011), na região semiárida do Estado da Bahia, observou que a colheita da palma forrageira é realizada em intervalos de um a três anos ou quando necessário, isto é, sob dependência do período de estiagem e da escassez de forragem para os rebanhos.

De maneira geral, a colheita da palma forrageira é realizada a cada dois anos, resultados demonstram a necessidade de preservação de uma área do cladódio residual para promover uma rebrota vigorosa e maior longevidade do palmal (Santos et al., 2010). Podendo ser feita diretamente pelos animais, de maneira mais tradicional quando os cladódios são picados em pedaços, ou com uso de forrageira, sendo fornecida no cocho. Outro método de fornecimento pós-colheita é a formação de leiras de palma próxima à área de cultivo, reduzindo operações de transporte e picagem uma vez que a mesma é fornecida inteira aos animais.

Segundo Souza (2015), a produtividade da palma forrageira cv. Miúda é influenciada significativamente pela interação entre densidade de plantas, frequências de colheita e intensidade de corte. Na colheita anual e preservação de cladódios primários, este mesmo autor, observou que a produtividade variou entre 13,93 e 39,8 t de MS ha⁻¹, para os tratamentos com 10.417 e 83.333 plantas ha⁻¹, respectivamente. Com colheita anual e preservação dos cladódios secundários a produtividade variou de 12,89 a 20,29 t de MS/ha⁻¹, com 10.417 e 83.333 plantas ha⁻¹. Na colheita bienal com preservação dos cladódios primários, a produtividade variou entre 22,9 e 46,6 t de MS ha⁻¹, nos tratamentos com 10.417 e 83.333 plantas ha⁻¹, respectivamente.

Com a preservação dos cladódios secundários e colheita bienal houve resposta linear positiva à densidade de plantas e a produtividade variou entre 14,5 e 33,9 t de MS ha⁻¹, com as densidades de 10.417 e 83.333 plantas ha⁻¹, respectivamente. O maior efeito da intensidade de corte na colheita anual se deve ao fato da planta conter grande quantidade de

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

cladódios na segunda ordem de inserção, que não foram colhidos, como observado por Silva et al., (2012).

Quanto ao manejo da colheita, ao utilizar a frequência de corte a cada dois anos, é recomendável maior conservação dos cladódios secundários, provavelmente, devido ao maior índice de área de cladódio remanescente após o corte, o que permite maior eficiência fotossintética da palma (Farias et al., 2005).

No entanto, a frequência de colheita vai depender da densidade de plantio, uma vez que em condições adequadas de adubação, os palmais com maior densidade de plantas atingirão índice de área de cladódio (IAC) ótimo mais rapidamente, o que requer colheitas mais frequentes, visando reduzir os efeitos negativos do sombreamento (Inglese, 1995). A luz é um fator que assume grande importância, considerando a disposição quase perpendicular dos cladódios em relação ao solo, dificultando a interceptação da luz incidente, o que resulta em um crescimento inicial lento, em função da baixa área fotossintética (Dubeux e Santos, 2005).

Amorim et al., (2015), estudando a caracterização morfológica e produtiva de variedades de palma forrageira, verificaram que o volume de cladódios apresenta maior coeficiente de correlação com a massa fresca dos cladódios. Visando a liberação de variedades para a produção de biomassa, indicam que as variedades Negros Michoacan F7, V7 e V12 Tamazunchale podem substituir a variedade Miúda. Além disso, os autores concluem que o número de cladódios e índice de área podem ser utilizados como critério para seleção de variedades superiores em programas de melhoramento.

Souza (2015), quanto a frequência de colheita, observou que o índice de área de cladódio da palma forrageira cv. Miúda, foi superior, quando se realizou a colheita bienal (4,4) em relação as plantas submetidas a colheita anual (2,2). Provavelmente, as plantas

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

com frequência de colheita anual, utilizaram as reservas e a energia oriunda da fotossíntese dos cladódios remanescente para recuperar a superfície fotossintética retirada com a colheita. Enquanto, as plantas submetidas a colheita bienal, permaneceram crescendo, mesmo com alta densidade de plantas (83.333 plantas ha⁻¹), possibilitando maior eficiência fotossintética e acúmulo de reservas da planta, quando comparada as plantas colhidas anualmente, o que segundo Farias et al., (2005), contribui para a maior longevidade do palmal.

A interação entre frequência e intensidade de corte, que ocorre normalmente no manejo de plantas forrageiras também ocorre no manejo da palma (Dubeux e Santos, 2005). Santos et al., (2000) observaram que a palma sob frequência de colheita de 4 anos, tanto faz preservar os cladódios primários ou os secundários, pois a produção de MS foi semelhante. Entretanto, quando a colheita foi mais frequente (2 anos), a maior produção de forragem foi obtida quando os cladódios secundários foram preservados.

Silva et al., (2014a), estudando a produtividade de cultivares de palma forrageira (Miúda, Gigante e Redonda) em diferentes densidades de plantio, observaram que o aumento da produtividade de massa verde e seca nas maiores densidades de plantio da palma forrageira está diretamente relacionado ao aumento de plantas ha⁻¹, uma vez que o número, massa verde e massa seca dos cladódios por planta, massa verde da planta e massa seca dos genótipos Miúda, Redonda e Gigante reduziram com o incremento das densidades de plantio. E a produtividade de massa seca na densidade de 10.000 a 80.000 plantas ha⁻¹ foi de 8,5 a 44,7t ha⁻¹ para a Miúda, de 5,8 a 26,5t ha⁻¹ para a Redonda e de 5,8 a 20,2t ha⁻¹ para a Gigante.

Silva Júnior et al., (2013), estudando a produtividade da palma Miúda em resposta a frequência, intensidade de corte e densidade de plantio, no agreste de Pernambuco,

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

concluíram que a utilização de diferentes espaçamentos, frequências e intensidades de colheita no cultivo da palma forrageira influenciaram a quantidade de forragem produzida, sendo mais produtivos plantios mais adensados, com colheitas aos 18 meses, mantendo os cladódios primários, obtendo produtividade média de 16,25 t MS/ha.

A palma forrageira pode alcançar alta produtividade se manejada corretamente, com intensidade e frequência de corte que levem em consideração a capacidade fotossintética da cultura e os fatores de produção disponíveis.

1.3. Composição isotópica de carbono $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ em plantas CAM

Os isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N ocorrem naturalmente na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera. Isótopos são átomos de um elemento com o mesmo número de prótons, mas diferente número de nêutrons. Portanto, existe uma variação na composição isotópica no ambiente que é devido aos processos físicos e químicos de fracionamento isotópico. Esses isótopos têm tido ampla aplicação na pesquisa científica, porque são isótopos de dois elementos de grande importância para o crescimento vegetal e que possuem os ciclos mais complexos nos sistemas agrícolas (Alves et al., 2005).

Segundo Rubenstein e Hobson (2004), os processos que influenciam na abundância isotópica do carbono nos tecidos vegetais são: fracionamento isotópico durante a fotossíntese em espécies de via C_3 , C_4 e CAM; condições ambientais que limitam as reações enzimáticas durante a fotossíntese ou alteram a abertura estomatal, agricultura (com plantas C_4) em ecossistemas naturais (com plantas C_3) fontes de poluição aquática ou atmosférica.

Embora os isótopos de um mesmo elemento participem das mesmas reações químicas, isso ocorre em taxas diferentes gerando uma variação na abundância natural desses elementos.

Reações químicas e processos físicos, tais como evaporação e condensação, discriminam contra isótopos ‘pesados’. O fracionamento resulta em produtos os quais são isotopicamente mais ‘leves’ (contém menos isótopos pesados) que o material precursor. Estas variações na abundância natural, tal como ocorre devido ao fracionamento pelas reações de fotossíntese ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$), fixação biológica de N ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$), permitem uma gama de aplicações nas mais diversas ciências naturais (Coplen et al., 2006).

A fotossíntese é o processo biológico mais importante do planeta. Depois da fotossíntese, a fixação biológica de nitrogênio, que é a conversão do N_2 atmosférico em formas assimiláveis pelos organismos vivos, é o segundo processo biológico mais importante (Moreira et al., 2006; Silva Júnior et al., 2013).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é realizada por meio de um complexo enzimático denominado nitrogenase, capaz de reduzir N_2 a NH_3 , presente apenas em alguns microrganismos procarióticos, conhecidos como diazotróficos, capazes de realizar a FBN. É a principal forma de entrada de N em ecossistemas naturais e em sistemas agrícolas de subsistência como os praticados predominantemente no semiárido brasileiro (Freitas et al., 2015).

Segundo Sampaio et al., (2004), esses sistemas são baseados na conversão de áreas nativas em áreas de cultivo, com corte e queima da vegetação nativa, plantio das culturas e subsequente abandono (pousio), antes de novo ciclo de derrubada e queima.

O alto custo do insumo e as incertezas climáticas, que prejudicam as respostas das culturas à sua aplicação, reduzem a viabilidade da aplicação de fertilizantes nitrogenados

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

nestes cultivos. Assim, as culturas são dependentes do N mineralizado dos restos vegetais e da matéria orgânica do solo, que são rapidamente degradados em consequência das altas temperaturas médias anuais e da alta incidência de raios ultravioleta (Parton et al., 2007), típicas da região.

As quantidades de nitrogênio fixadas em ecossistemas naturais ou agrícolas são influenciadas por diversos fatores ambientais e práticas de manejo e, para estabelecer manejos adequados e a máxima realização dos benefícios da associação planta-microrganismo, é necessário estimar quanto de nitrogênio é fixado em diferentes condições.

O nitrogênio tem dois isótopos estáveis, o ^{15}N e o ^{14}N , e suas proporções variam na biosfera em razão do fracionamento isotópico nos processos físicos, químicos e biológicos. O N_2 atmosférico, que tem uma abundância constante de 0,3663 atom% de ^{15}N , é aceito como padrão (Hogberg, 1997).

A composição isotópica de amostras de solos e tecidos de plantas é o resultado líquido de processos (mineralização, volatilização de amônia, nitrificação, desnitrificação, troca de íons, difusão, absorção pelas plantas e micorrizas, fixação biológica do N_2 , herbivoria, etc.) que envolvem diferentes magnitudes e direções de fracionamento isotópico (Shearer e Kohl, 1989), com efeitos potenciais sobre a concentração de ^{15}N no sistema solo-planta (Högberg, 1997).

Plantas com metabolismo CAM possuem a rota C_4 durante a noite (ausência de luz) e ciclo C_3 durante o dia. Conforme o metabolismo fotossintético, as plantas apresentam valores específicos $\delta^{13}\text{C}$. Plantas C_3 apresentam valores δ entre 22 a 30‰, plantas C_4 entre 10 - 14‰ e plantas CAM 10 a 35‰, (Cerling et al., 1997; Larcher, 2003; Coplen et al., 2006).

A composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 da atmosfera é aproximadamente - 8‰, mas o valor de δ tem gradualmente se tornado mais negativo com o aumento das concentrações de CO_2 atmosférico.

As plantas CAM obrigatórias fixam CO_2 a noite enquanto as plantas CAM facultativas podem fixar durante o dia como as plantas C_3 , sob condições favoráveis ou stress hídrico do ambiente. Algumas plantas apresentam os dois mecanismos C_3 e CAM (plantas C_3 -CAM facultativas). Estas plantas possuem uma extraordinária flexibilidade fisiológica, ajustando o mecanismo fotossintético segundo as variações ambientais. Nestes casos os valores isotópicos das plantas CAM obrigatórias são comparáveis as plantas C_4 , - 13‰, enquanto as CAM facultativas variam de - 10‰ a - 28‰, dependendo das variações ambientais (Cryan et al., 2004).

Em geral, as plantas CAM, durante os processos metabólicos, perdem de 50 a 100 g de água para cada grama de CO_2 obtido, comparando com valores de 250 a 300 g para plantas C_4 e 400 a 500 g para plantas C_3 . As plantas CAM possuem assim, vantagens competitivas em ambientes secos (Taiz e Zeiger, 2013).

A rota fotossintética é o principal determinante de $\delta^{13}\text{C}$ das plantas. No entanto, condições ambientais podem afetar os valores de δ , tais como o estresse hídrico (seca), radiação solar, altas/baixas temperaturas, baixa pressão atmosférica e estresse por ozônio. Estes estresses ambientais, como o aumento da temperatura global, afetam o balanço de fracionamento entre a condutância estomática (taxa de passagem do CO_2) e a carboxilação.

O suprimento de N pode afetar diretamente o $\delta^{13}\text{C}$ 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 para os valores $\delta^{13}\text{C}$ das plantas, e a

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

composição isotópica do CO₂ atmosférica do local tem forte influência nesses valores de δ (Serret et al., 2008).

Sampaio et al., (1979), estudando o $\delta^{13}\text{C}$ de plantas CAM de diferentes locais de Pernambuco, encontraram valores para *Opuntia ficus indica* Mill de -11,3 e -12,4‰, e para a *Nopalea cochenillifera* Salm Dick entre -12,0 e -13,8‰, concluindo que os valores obtidos são típicos de fixação via PEP-carboxilase e indicam que independentemente das condições ambientais e da idade, a fotossíntese se dá pelo processo CAM, possivelmente com fixação de CO₂ durante a noite.

No que diz respeito a fixação biológica de nitrogênio, alguns estudos foram desenvolvidos. Silva et al., (2015), objetivando caracterizar filogeneticamente isolados bacterianos de variedades de palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), provenientes das regiões do agreste (Caruaru) e sertão de Pernambuco (Arcoverde), usando o gene parcial *recA*, isolaram doze microrganismos diazotróficos do interior dos cladódios de palma, pertencentes aos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus* e *Methylobacterium*. Esses microrganismos também apresentaram grande eficiência na promoção de crescimento vegetal, com a produção de ácido indolacético e melanina, e resistência intrínseca a antibióticos (Silva et al., 2014b).

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. Dos 22 isolados, 8 foram cultivados em meio NFB nos seguintes cultivares de palma forrageira: Marmillon Fodder (1317), F8 (438) e México vegetal (1371). Dois isolados (IPA-IS6 e IPA-IS8) foram cultivadas em meio JNFb nos cultivares Marmillon Fodder e F3 Rojo Vigor. Os três isolados IPA-IS2, IPA-IS13 e IPA-IS15 foram cultivadas em meio JNFb em Marmillon Fodder, F3 Rojo Vigor e IPA 90-92.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Seis isolados foram cultivados em meio LGI-P (*Gluconacetobacter diazotrophicus*) na cactácea forrageira Marmillon Fodder, F3 Rojo Vigor, F8 (438), Chile Fruit (1371) e IPA 90-92. Três isolados no meio LGI - IPA-IS20 (IPA 90-92), IPA-IS17 (COPENA-V1) e IPA-IS9 (Chile Fruit 1371). Os autores concluem 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.

Costa e Melo (2012), ao selecionarem bactérias da região semiárida brasileira (Alagoas e Paraíba), associadas a *O. ficus-indica* Mill., obtiveram 37 isolados de bactérias endofíticas em cladódios e raízes e, 31 rizobactérias isoladas da rizosfera do solo, em meio livre de nitrogênio. Os gêneros mais comuns isolados das raízes e cladódios foram *Enterobacter* e *Bacillus*; e *Ochrobactrum* da rizosfera. Das 68 estirpes de bactérias diazotróficas associadas a palma, 18% produziram AIA, 6% solubilizaram fosfato e 4% das estirpes mostraram capacidade de aumentar a matéria seca de raízes.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, J. de. 2011. A palma forrageira na região semiárida do estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade. 95f. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
- Alves, B. J. R.; Zotarelli, L.; Jantalia, C. P.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. 2005. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. In: Aquino, A.M.; Assis, R. L. (Eds). Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável. Embrapa-SCT. p. 343-350.
- Amorim, P. L.; Martuscello, J. A.; Araújo Filho, J. T.; Cunha, D. N. F. V.; Jank, L. 2015. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 3, p. 230 – 238.
- Batista, A.M.V.; Ribeiro Neto, A.C.; Lucena, R.B.; Santos, D.C.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Mustafa, A.F. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology e Management* 62, 297-301.
- Bispo, S.V.; Ferreira, M.A.; Vêras, A.S.C.; Batista, Â. M. V.; Pessoa, R. A. S.; Bleuel, M. P. 2007. Palma forrageira em substituição ao feno de capim-elefante. Efeito sobre consumo, digestibilidade e características de fermentação ruminal em ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.6, p.1902-1909.
- Cordova Torres, A.V.; Costa, R. G.; Medeiros, A. N.; Araújo Filho, J. T.; Ramos, A. O.; Alves, N. L. 2017. Performance of sheep fed forage cactus with total water restriction. *Revista brasileira de saúde e produção animal*, v.18, no.2, p.369-377.
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Silva, M. A. 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 4, p. 424-433.
- Cerling, T.E.J.; Harris, B.; Mac Fadden, M.; Leakey, J.; Quade, V.; Elsenmann, J.; Ehleringer, J.R. 1997. Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary: *Nature*, v. 389, p. 153–158.
- Coplen, T.B., W.A.; Brand, M.; Gehre, M.; Gröning, H.J.; Meijer, B.; Toman R.M. 2006. New guidelines for $\delta^{13}\text{C}$ measurements. *Analyses Chemical*. v.4, p 128-143.
- Costa, F. E. C.; Melo, I. S. 2012. Endophytic and rhizospheric bacteria from *Opuntia ficus indica* mil and their ability to promote plant growth in cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *African Journal of Microbiology Research*, v.6, p.1345-1353.
- Crayn, D.M.; Winter, K.; Smith, A. C. 2004. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit In: the Neotropical family Bromeliaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101:3703 – 3708.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Donato, P. E. R.; Pires, A. J. V.; Donato, S. L. R.; Silva, J. A.; Aquino, A. A. 2014. Valor nutritivo da palma forrageira ‘gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 1, p. 163 – 172.

Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Cavalcante, M.; Santos, D.C. 2013. Potential of cactus pear in South America. *Cactusnet Newsletter*, v. 13, Edição especial, p. 29-40.

Dubeux Júnior, J.C.B.; Santos, M.V.F., 2005. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: Menezes, R. S. C; Simões, D. A.; Sampaio, E V. S. B. (Eds.). *A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, p.105-128.

Dubeux Júnior, J.C.B.; Salem, H.B.; Nefzaoui, A. 2017. Forage Production and supply for animal nutrition. 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.73-90.

Farias, I.; Santos, D.C.; Dubeux Jr, J.C.B. 2005. Estabelecimento e manejo 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*. Editora Universitária da UFPE, p. 81-103.

Ferreira, M. A.; Bispo, S.V.; Rocha Filho, R.R.; Urbano, E.A.; Costa, C. T. F. 2012. The Use of Cactus as Forage for Dairy Cows in Semi-Arid Regions of Brazil. *Organic Farming and Food Production*. Cap.8. Intech.

Freitas, A.D.S.; Sampaio, E.V.S.B.; Santos, C.E.R.S.; Silva, A.F.; Souza, R.J.C. 2015. Fixação biológica de nitrogênio no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física* V. 08, p. 585-597.

Gebremariam, T.; Melaku, S.; Yami, A. 2006. Effect of wilting of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) on feed utilization in sheep. *Tropical Science*, v.46, n.1, p.37-40.

Högberg, P. 1997. ¹⁵N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist*, Oxford, v. 137, p. 179-203.

Inglese, P. 1995. Orchard planting and management. In: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta-Barrios, E., (eds.) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO, p. 78-91.

Inglese, P.; Liguori, G.; Barrera, E. 2017. 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.

Instituto nacional do semiárido. 2012. Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro. Campina Grande, Insa, p. 103.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology* (fourth edition), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Lima, G. F. C.; Rego, M. M. T.; Dantas, F. D. G.; Lôbo, R. N. B.; Silva, J. G. M.; Aguiar, E. M. 2016. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. *Revista Caatinga*, v. 29, n. 2, p. 481 – 488.
- Lima, R. M. B.; Ferreira, M. A.; Brasil, L. H. A.; Araújo, P. R. B.; Vêras, A. S. C.; Santos, D. C.; Maom, C.; Melo, A. A. S.; Oliveira, T. N.; Souza, I. S. 2002. Replacement of the Corn by Forage Cactus: Ingestive Behavior of Crossbreed Lactating Cows. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 25(2), p. 347-353.
- 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. 2017. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Vol. 25 (1-2):1-23.
- 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. 2013. 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.
- Mahouachi, M.; Atti, N.; Hajji, H. 2012. Use of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. inermis) for dairy goats and growing kids: impacts on milk production, kid's growth, and meat quality. *The Scientific World Journal*; p. 4.
- Morais, D.A.E.F.; Vasconcelos, A.M. 2007. Alternativas para incrementar a oferta de nutrientes no semiárido brasileiro. *Revista Verde*, v.2, n.1, p.1-24.
- Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., 2006. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*, 2.ed. UFLA.
- Nascimento, J. P.; Souto, J. S.; Santos, E. S.; Damasceno, M. M.; Ramos, J. P. F.; Sales, A. T.; Leite, M. L. M. V. 2011. Caracterização morfológica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. *Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária*, v.5, p.21-26.
- Neder, D.G.; Costa, F.R.; Edvan, R.L.; Souto Filho, L.T. 2013. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.13, p.203-207.
- Neves, A. L. A.; Pereira, L. G. R.; Santos, R. D.; Voltolini, T. V.; Araújo, G. G. L.; Moraes, S. A.; Aragão, A. S. L.; Costa, C. T. F. 2010. Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro. *Embrapa Gado de Leite*, p. 7.
- Nobel, P.S.; Bobich, E.G. *Environmental biology*. 2002. In: NOBEL, P. (Ed.). *Cacti: Biology and Uses*. Berkeley: University of California Press, p. 280.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Nobel, P. S.; Barbera, G.; Inglese, P.; Pimienta-Barrios, E. 1995. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, p.36-48.

Oliveira Júnior, S.; Barreiro Neto, M.; Ramos, J.P.F.; Leite, M.L.M.V.; Brito, E.A.; Nascimento, J.P. 2009. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no semiárido paraibano. Tecnologia e Ciência agropecuária, v. 3, n. 1, p. 7-12.

Parton, W.; Silver, W.L.; Burke, I.C.; Grassens, L.; Harmon, M.E.; Curre, W.S.; King, J.Y.; Adair, E.C.; Brandt, L.A.; Hart, S.C.; Fasth, B. 2007. Global scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. Science. 135, 361-364.

Pereira P. C.; Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Silva, S. M. S.; Silva, M. J. 2017. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. Rev. Caatinga, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 776 – 785.

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

Pimenta-Barrios, E. 2005. Young Daughter Cladodes Affect CO₂ Uptake by Mother Cladodes of *Opuntia ficus-indica*. Annals of Botany, London, v. 95, n. 2, p. 363-369.

Pinheiro, K.M.; Silva, T.G.F.; Carvalho, H.F.S.; Santos, J. E.O.; Morais, J. E. F.; Zolnier, S.; Santos, D.C. 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.49, n.12, p.939-947.

Ramos, J. P. F.; Leite, M. L. M. V.; Oliveira Junior, S.; Nascimento, J. P.; Santos, E. M. 2011. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. Revista Caatinga, v. 24, n. 3, p. 41-48.

Rubenstein, D. R.; Hobson, K. A.2004.From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes. Trends in Ecology and Evolution, v. 19, n. 5, p. 256-263.

Sales, A. T.; Leite, M.L.V.; Alves, A. Q.; Ramos, J. P. F.; Nascimento, J. P. 2013. Crescimento vegetativo da palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú paraibano. Tecnologia e Ciência agropecuária, v. 7, n. 1, p. 19-24.

Sales, A.T.; Andrade, A.P.; Silva, D.S.; Leite, M.L.V.; Viana, B.L.; Santos, E.G.; Parente, H.N. 2006. Potencial de adaptação de variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) no Cariri Paraibano. IN: IV Congresso Nordeste de Produção Animal. SNPA, p. 434-438.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Sampaio, E.V.S. B. 2005. Fisiologia da palma. In: Menezes, R. S. C; Simões, D. A.; Sampaio, E V. S. B. (Eds.). A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso. 1. ed. Editora da UFPE, p 43-55.

Sampaio, E.V.S.B.; Tiessen, H.; Antonino, A.C.D.; Salcedo, I.H.; 2004. Residual N and P fertilizer effect and fertilizer recovery on intercropped and sole-cropped corn and beans in semiarid northeast Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70, p 1-11.

Sampaio, E.V.S.B.; Matsui, E. 1979. $\delta^{13}\text{C}$ de plantas CAM de diferentes locais de Pernambuco. *Anais. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife*, 4:7-12.

Santos, D.C.; Silva, M.C.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Lira, M.A.; Silva, R.M. 2013. Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. *Revista Científica Produção Animal.*, v.15, n.2, p.111-121.

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. 2006. Manejo e utilização da palma forrageira em Pernambuco. Recife: IPA, 48 p. (IPA. Documentos, 30).

Santos, D. C.; Lira, M. A.; Dias, F. M.; Farias, I.; Santos, M. V. F.; Santos, V. F. 2000. Produtividade de cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). In: Simpósio Nordeste de Alimentação de Ruminantes, 7. SNPA, p. 121-123.

Santos, M V. F.; Lira, M. A.; Dubeux Jr, J.C.B. Ferreira, M. A. Cunha, M.V. 2010. Palma forrageira. In: *Plantas forrageiras*. 1 ed. Editora UFV, p. 459-493.

Serret, M. D.; Ortiz, M. I., Pardo, A. Araus, J. L. 2008. The effect of urea fertilization and genotype on yield, nitrogen use efficiency, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in wheat. *Annals of Applied Biology*, v. 156, p 243-257.

Shearer, G.; Kohl, D.H. 1989. Natural ^{15}N enrichment of amide – exporting legume nodules. *Physiology Plant.* 76: 586-590.

Silva, M. L. R. B. da; Mergulhão, A. C. do E. S.; Figueroa, C. dos S.; Cordeiro, D. dos S.; Lyra, M. do C. C. P. de. 2014. 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.

Silva, M. L. R. B. da; Figueirôa, C. dos S.; Mergulhão, A. C. do E. S.; Lyra, M. do C. C. P. de. 2015. 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.

Silva Júnior, E.B.; Ferreira, A.; Boddey, M.R.; Zilli, J.E. e Xavier, G.R. 2013. Ontogenia da nodulação de feijão-caupi em vaso com solo da área de produção do Centro-Oeste. In: III Congresso Nacional de feijão-caupi. IPA.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Silva, J. A.; Bonomo, P.; Donato, S. L. R.; Pires, A. J. V.; Rosa, R. C. C.; Donato, P. E. R. 2012. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, supl., p. 866-875.

Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Viegas, P.A.A.; Muniz, E.E.; Rangel, J.H.A.; Moreira, A.L., Backes, A.A. 2014a. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, v.44, n.11, p.2064-2071.

Silva, N.G.M.; Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Dubeux, J.C.B.; Mello, A.C.L.; Silva, M. C. 2010. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.39, n.11, p.2389-2397.

Silva, T. G. F.; Primo, J. T. A.; Silva, S. M. S.; Moura, M. S. B.; Santos, D.C.; Silva, M.C.; Araújo, J. E. M. 2014. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. *Bragantia*, v. 73, n. 2, p.184-191.

Silva, J.A.; Donato, S. L. R.; Donato, P. E. R.; Souza, E.S.; Padilha Júnior, M.C. e Silva Junior, A.A. 2016. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.20.

Silva, J.A.; Bonomo, P.; Donato, S.L.; Pires, A.J.V.; Silva, F.F.; Paulo E. R. D. 2013. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações química. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*. Recife, v.8, n.2, p.242-350.

Souza, T.C. 2015. Sistemas de cultivo para a palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). 120 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Scalisi, A.; Morandi, B.; Inglese, P.; Lo Bianco, R. 2016. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 158-167.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2013. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, p 954.

Vasconcelos, A.V.G.; Lira, M.A.; Cavalcanti, V.L.B. Santos, M. V. F.; Willadino, L. 2009. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.5, p.827-831.

Warumby, J. F.; Arruda Filho, G. P.; Cavalcanti, V. A. L. B.; Arruda, G. P. 2005. Pragas da Palma. In: Menezes, R. S. C; Simões, D. A.; Sampaio, E V. S. B. (Eds.). *A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, p.105-128.

CAPÍTULO II

Produtividade, morfologia e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda sob diferentes sistemas de cultivo

Produtividade, morfologia e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda sob diferentes sistemas de cultivo

1. RESUMO

A palma é uma cultura de elevado potencial produtivo, podendo a produção ser afetada por adubação, controle de plantas daninhas e densidade de plantio. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em Caruaru-PE, no período de fevereiro de 2014 a agosto de 2015, com o objetivo de avaliar o efeito da densidade de plantio (10.417, 20.833, 41.666 e 83.336 plantas ha⁻¹) e frequência de colheita (anual e bienal) sobre o rendimento e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda. Foi utilizado delineamento de blocos ao acaso com arranjo em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As variáveis analisadas foram: produtividade, eficiência de uso da chuva, número de cladódios por planta, índice de área de cladódios, altura das plantas, largura das plantas, teores de MS, PB, Na, K, Mg, Ca. Na densidade 83.336 plantas ha⁻¹, a produtividade foi de 30,01 t MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹ e o índice de área de cladódios 4,22. A eficiência de uso da chuva na maior densidade foi de 32, 23 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹. Os teores de potássio, magnésio e sódio não foram influenciados por nenhum dos fatores testados, sendo valores médios de 26,84 g kg⁻¹, 17,98 mg kg⁻¹ e 2,57 mg kg⁻¹, respectivamente. O teor de nitrogênio reduziu com o aumento da densidade de plantio. O teor de cálcio foi maior na densidade de 10.417 plantas ha⁻¹. A produtividade correlacionou-se significativamente com o índice de área de cladódio e com o número de cladódios. A densidade populacional de 83.336 plantas ha⁻¹ com frequência de colheita bienal promoveu o aumento da produtividade.

Palavras-chave: composição química, densidade de plantas, *Nopalea cochenillifera*.

Productivity, morphology and mineral composition of cactus pear cv. Miúda under different farming systems

ABSTRACT

The cactus pear is a crop with high productive potential, and the production can be affected by fertilization, weed control and planting density. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), Caruaru-PE, from February 2014 to August 2015, in order to evaluate the effect of planting density (10,417, 20,833, 41,666 and 83,336 plants ha⁻¹), harvest frequency (annual and biennial) on yield and mineral composition of cactus pear cv. Miúda. A randomized block design was used with arrangement in subdivided plots, with four replications. The variables analyzed were: productivity, rainfall efficiency, number of cladodes per plant, cladode area index, plant height, plant width, DM, PB, Na, K, Mg, Ca contents. In density 83,336 plants ha⁻¹, yield was 30,01 t MS ha⁻¹ 2 years⁻¹ and the cladode area index 4,22. The rainfall efficiency at the highest density was 32, 23 kg DM ha⁻¹ mm⁻¹. The potassium, magnesium and sodium contents were not influenced by any of the factors tested, being average values of 26.84 g kg⁻¹, 0,01798 g kg⁻¹ and 0,00257 g kg⁻¹, respectively. The nitrogen content decreased with increasing planting density. The calcium content was higher in the density of 10,417 plants ha⁻¹. The productivity correlated significantly with the cladode area index and the number of cladodes. The population density of 83,336 plants ha⁻¹ with biennial crop frequency promoted productivity increase.

Keywords: chemical composition, plant density, *Nopalea cochenillifera*.

INTRODUÇÃO

A produção animal continua sendo a principal fonte de renda para as populações rurais que vivem nas regiões semiáridas. No entanto, o setor enfrenta muitos desafios, incluindo restrições de alimento e pouca chuva. As pastagens dessas regiões desempenham um papel muito importante nos sistemas de produção pecuária, embora sua contribuição para a alimentação animal esteja diminuindo (Dubeux et al., 2017).

Segundo Dubeux et al., (2015), a produtividade dessas pastagens é geralmente baixa, de aproximadamente 5 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹, com baixos rendimentos de biomassa com aproximadamente 1 t de MS ha⁻¹ ano⁻¹, levando a baixa capacidade de suporte de 12 – 15 ha para manutenção de um bovino adulto.

Tecnologias responsáveis pelo aumento da produtividade de carne no Brasil incluem a utilização de variedades de forrageiras mais produtivas e adaptadas ao ambiente brasileiro, avanços nas técnicas de manejo de pastagens e dos rebanhos, melhoramento genético animal e vegetal, dentre outros (Lira et al., 2017).

Segundo Silva et al., (2014a), no semiárido brasileiro, devido a sua rusticidade e potencial de produção em condições de pouca disponibilidade de água, a palma tornou-se um relevante recurso para a alimentação animal, com alta capacidade de oferta de forragem quando comparada à vegetação nativa da caatinga (Oliveira et al., 2010; Sales et al., 2009).

Assim, a produção de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é uma das estratégias de apoio à convivência da pecuária regional com a seca (Silva et al., 2012). No Brasil, estima-se que há atualmente 600 mil hectares de palma, sendo Pernambuco e Alagoas detentores da maior plantação (Dubeux et al., 2013), apesar da extensa área cultivada, isso representa uma pequena proporção do seu potencial.

A palma forrageira representa uma das opções de cultura xerófila com potencial de exploração no Nordeste, onde a palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) é considerada de grande importância para o produtor da região semiárida, por apresentar maior resistência a praga cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp.), que é atualmente a principal praga da cultura da palma no Nordeste do Brasil.

As respostas genotípicas da palma forrageira a diferentes densidades de cultivo (Cavalcante et al., 2014) mostram que os aumentos na densidade de cultivo proporcionam maior produtividade e, conseqüentemente, maior acúmulo de água e nutrientes por hectares a cada dois anos. Nas condições apresentadas, a palma é a melhor opção para.

A cultura da palma forrageira apresenta baixo índice de área de cladódio, quando comparada a outras espécies forrageiras, o que resulta em uma menor taxa de acúmulo de biomassa. Um baixo índice de área de cladódios (IAC) pode limitar o crescimento e favorecer a incidência de mato. Nobel (1995) recomenda atingir um índice de área de cladódio de 4 a 5 para palma, sendo esses valores atingidos. Segundo Santos et al., (2010), apenas em plantios adensados de alta produtividade ou quando o palmar é colhido com baixa frequência.

A relação entre as características morfológicas, como altura e largura da planta, índice de área do cladódio e comprimento do cladódio, e o rendimento da planta representam um dado de grande importância para a compreensão da resposta da palma forrageira as condições do ambiente de cultivo (Pinheiro et al., 2014).

Para promover uma rebrota vigorosa e maior longevidade do palmar, a colheita deve ser realizada a cada dois anos, com a necessidade de preservação dos cladódios secundários (Santos et al., 2010). No entanto, existe a necessidade de avaliar a resposta dessa cultura as práticas de manejo aplicadas. Objetivou-se avaliar o efeito de frequências de colheita

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

associado a diferentes densidades de plantio sobre o rendimento e composição mineral da palma forrageira Miúda, no Agreste pernambucano.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) no município de Caruaru, localizado na Região Agreste de Pernambuco, Nordeste do Brasil. As coordenadas geográficas do local experimental são 8°14' S e 35°55' W com elevação de 575 m acima do nível do mar. A precipitação média anual é de 679,2 mm, considerando dados coletados da estação experimental nos últimos 30 anos. O solo da estação experimental de Caruaru é classificado como NEOSSOLO REGOLÍTICO.

O plantio foi realizado entre abril e maio de 2011, utilizando-se cladódios maduros, originados da mesma estação experimental, plantados no sentido vertical. Adubação orgânica foi realizada após o plantio (junho/2011) e após a primeira colheita anual (junho/2012), quando ocorreu a primeira adubação nitrogenada dividida em duas aplicações (5 e 19 de julho). Para atender as recomendações da cultura da região (Santos et al., 2006), aplicou-se 20 t de matéria orgânica ha⁻¹ ano⁻¹, utilizando esterco bovino, e 200 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ utilizando ureia.

A primeira colheita bial ocorre em junho/2013, a aplicação da adubação nitrogenada ocorreu em três aplicações (28 de junho, 23 de julho e 19 de agosto).

Seguindo os tratamentos, realizou-se a colheita anual em 2014 e a bial em 2015, a precipitação pluvial durante o período experimental foi de 953 mm, tendo ocorrido elevada variação entre os meses (Figura 1).

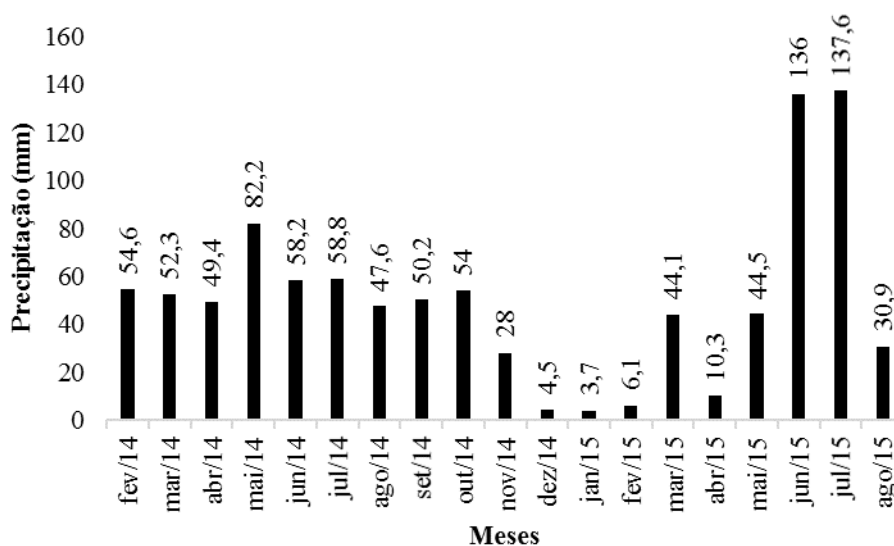


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) em Caruaru, Agreste de Pernambuco, durante o período experimental. Fonte: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA.

Avaliou-se a produtividade e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) em diferentes densidades de plantio e frequência de colheita anula e bienal. A composição mineral foi avaliada apenas na colheita bienal. O delineamento experimental utilizado foi o casualizados em blocos, em arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na parcela principal (12,0 x 9,6 m) foram avaliadas as densidades de plantio em espaçamento de 1,2 x 0,80 m (10.417 plantas ha⁻¹); 1,2 x 0,40 m (20.833 plantas ha⁻¹); 1,2 x 0,20 m (41.666 plantas ha⁻¹) e 1,2 x 0,10 m (83.336 plantas ha⁻¹). Cada parcela foi constituída de quatro fileiras de plantas, sendo que as duas fileiras laterais e três plantas de cada extremidade da fileira foram consideradas como bordaduras.

As variáveis mensuradas foram produtividade (t ha⁻¹), eficiência de uso da chuva, número de cladódios por planta, índice de área de cladódios (IAC), altura de plantas, largura de plantas, teores de MS, PB, Na, K, Ca e Mg (g kg⁻¹).

Para avaliar a fertilidade do solo coletou-se amostras do solo da área experimental em três pontos na camada de 0-20cm de profundidade e os resultados estão apresentados na Tabela 1. Aos dois anos de cultivo, pode-se observar que os teores de P, Mn, Zn, Fe e Na, foi menor na maior densidade de plantas, o que pode ser devido à maior demanda e extração de nutrientes nas parcelas submetidas a maior densidade populacional.

A produtividade foi determinada utilizando-se o somatório de duas colheitas anuais em 2014 e 2015, comparada com uma colheita bienal em 2015. Para as demais variáveis analisadas utilizou-se a média de duas colheitas anuais e uma colheita bienal.

A eficiência de uso da chuva foi determinada pela relação entre a produtividade de matéria seca e a precipitação do período de crescimento.

Para a determinação do teor de matéria seca foi retirada uma subamostra das plantas da área útil pesada e mantida em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até o peso constante.

O número de cladódios por planta foi determinado pelo somatório dos cladódios por planta, observado em duas plantas por área útil no momento da avaliação. A área de cladódios foi determinada pelo desenho de todos os cladódios em papel A4, utilizando duas plantas por área útil. Para determinar a relação peso/área do papel A4, pesou-se 75 amostras de 1 cm² do papel utilizado.

Tabela 1. Médias e (erro padrão) das características químicas do solo após dois anos de cultivo (julho/2013) da palma forrageira cv. Miúda sob diferentes densidades de plantas.

	Unidade	Densidade de plantas ha ⁻¹			
		10.417	20.833	41.667	83.333
pH		5,31 (± 0,04) ⁶	5,31 (± 0,04)	5,3 (± 0,06)	5,26 (± 0,04)
Fósforo ¹	mg dm ⁻³	66,25 (± 4,42)	61,25 (± 3,56)	55,0 (± 4,72)	52,5 (± 4,84)
Potássio	cmol _c dm ⁻³	0,22 (± 0,007)	0,23 (± 0,01)	0,23 (± 0,01)	0,22 (± 0,007)
Cálcio	cmol _c dm ⁻³	1,75 (± 0,11)	1,71 (± 0,12)	1,68 (± 0,11)	1,74 (± 0,16)
Magnésio	cmol _c dm ⁻³	0,54 (± 0,07)	0,58 (± 0,09)	0,54 (± 0,09)	0,59 (± 0,13)
Manganês	mg dm ⁻³	34,44 (± 3,32)	33,63 (± 5,15)	33,26 (± 1,85)	33,03 (± 5,05)
Zinco	mg dm ⁻³	2,84 (± 0,14)	2,66 (± 0,15)	2,59 (± 0,55)	2,57 (± 0,22)
Ferro	mg dm ⁻³	55,16 (± 2,26)	54,94 (± 2,99)	53,68 (± 3,35)	50,58 (± 2,26)
Cobre	mg dm ⁻³	0,44 (± 0,03)	0,45 (± 0,03)	0,43 (± 0,05)	0,42 (± 0,08)
Sódio	cmol _c dm ⁻³	0,24 (± 0,03)	0,20 (± 0,01)	0,17 (± 0,01)	0,13 (± 0,01)
Alumínio	cmol _c dm ⁻³	0,09 (± 0,01)	0,08 (± 0,01)	0,08 (± 0,01)	0,09 (± 0,006)
Hidrogênio	cmol _c dm ⁻³	2,09 (± 0,13)	2,08 (± 0,11)	2,15 (± 0,06)	2,19 (± 0,09)
S.B. ²	cmol _c dm ⁻³	2,72 (± 0,14)	2,68 (± 0,18)	2,59 (± 0,18)	2,68 (± 0,23)
CTC ³	cmol _c dm ⁻³	4,9 (± 0,22)	4,85 (± 0,20)	4,82 (± 0,19)	4,96 (± 0,29)
V ⁴	%	55,82 (± 1,93)	55,81 (± 1,99)	53,62 (± 1,59)	53,83 (± 1,36)
Carbono	%	1,48 (± 0,05)	1,47 (± 0,07)	1,52 (± 0,06)	1,53 (± 0,07)
M ⁵	%	3,24 (± 0,54)	3,06 (± 0,54)	3,15 (± 0,50)	3,34 (± 0,34)
M.O. ⁶	%	2,55 (± 0,09)	2,53 (± 0,12)	2,62 (± 0,11)	2,64 (± 0,13)

¹Mehlich 1; ²Soma de bases; ³capacidade de troca de cátions; ⁴saturação por bases; ⁵saturação por alumínio; ⁶matéria orgânica do solo.

O índice de área de cladódios (IAC) foi obtido dividindo-se o somatório da área de todos os cladódios da planta pela área de solo ocupada por cada planta. Na determinação do IAC foi considerada a área de ambos os lados dos cladódios, como relatado por (Nobel e Bobich, 2002).

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

A altura de plantas foi determinada pela medição aleatória de duas plantas por área útil, considerando o ápice do cladódio mais alto da planta em relação à base da planta no nível do solo.

A largura de plantas foi determinada medindo a planta no sentido horizontal, considerando os cladódios mais distantes nas extremidades da planta, em duas plantas aleatórias na área útil.

O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl, para a análise dos minerais Na, K, Ca e Mg produziu-se um extrato nitroperclórico, em seguida armazenadas para posterior análise, seguindo metodologia descrita por (Bezerra Neto e Barreto, 2011).

O teor de K e Na foi determinado utilizando o fotômetro de chamas (Digimed DM 62) seguindo metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011), para a análise do K, os extratos vegetais foram diluídos com água destilada na seguinte proporção: 1 mL de extrato vegetal (amostra) e 10 mL de água destilada.

O teor de Ca e Mg foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica seguindo metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011). Para as análises de Ca e Mg há a necessidade da adição de cloreto de estrôncio a diluição dos extratos vegetais para evitar interferências provocadas pela presença de fosfato e aluminatos.

Para o estudo dos coeficientes de correlação foi considerado a densidade de 41.668 plantas por ha^{-1} , por apresentar os melhores coeficientes de correlação entre a produtividade e as características morfológicas e a produtividade.

Para análise estatística realizou-se análise de variância, com aplicação do teste F, utilizando o procedimento Proc Mixed. Quando o efeito do fator quantitativo (densidade de plantas) foi significativo ($P < 0,05$), contrastes ortogonais polinomiais foram utilizados. As correlações entre a produtividade e as características morfológicas estudadas foram obtidas

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

considerando a densidade de 41.668 plantas ha⁻¹, por meio do coeficiente de correlação de Pearson, utilizando-se o programa GENES. As análises foram realizadas utilizando o programa SAS (SAS Inst. Inc, 2013).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de cladódios por plantas foi influenciado significativamente ($P<0,05$) pela densidade de plantas, com efeito linear negativo com o aumento da população de plantas por área (Figura 2). A colheita bienal promoveu redução no número de cladódios por planta à medida que a densidade aumentou.

O número de cladódios foi superior na menor densidade de plantas 10.417 plantas ha⁻¹, em média 47,56 por planta, provavelmente devido à maior superfície de solo explorada (Dubeux Júnior et al., 2006). Por outro lado, na maior densidade de plantas 83.336 plantas por ha⁻¹ tinha oito vezes mais plantas por unidade de área, assim, o número de cladódios por área foi maior nas parcelas com maior população de plantas.

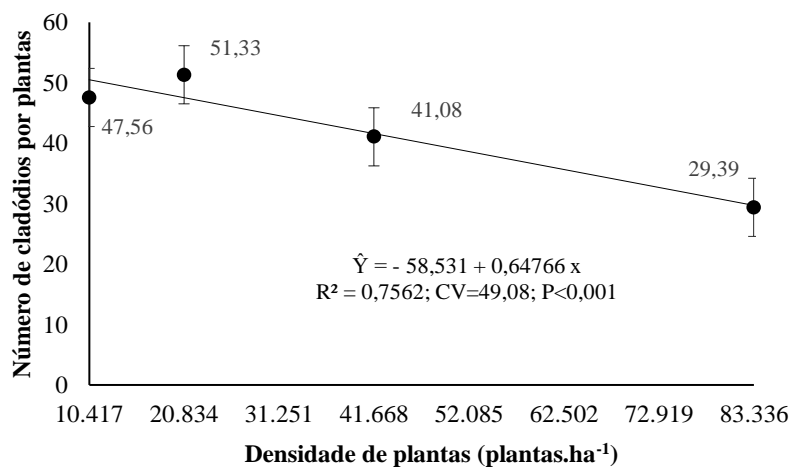


Figura 2. Número de cladódios por planta da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidades de plantas. As barras indicam erro padrão.

O número de cladódios na menor e maior densidade foi de 47,56 e 29,39, respectivamente, ocorrendo uma redução de 31% no número de cladódios, da menor para a maior densidade. Quando relacionados aos valores encontrados no estudo de Silva et al., (2014), que verificaram que o número de cladódios por planta da palma forrageira cv. Miúda na menor densidade (10.000 plantas ha⁻¹) e na maior densidade (80.000 plantas ha⁻¹) foi de 62,3 a 45,2 respectivamente. Estes valores foram superiores aos encontrados no presente estudo, provavelmente devido às condições adversas observadas durante o período experimental (Figura 2).

Contudo, essa redução no número de cladódios com o aumento da densidade, também observada por Silva et al., (2014), pode ser justificada possivelmente pela maior competição entre as plantas por luz, espaço e nutrientes, dificultando o surgimento de

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

novos cladódios. Apesar do menor número de cladódios encontrado na maior densidade de plantio aproximadamente cinco vezes mais cladódios por parcela.

Segundo Nascimento et al., (2011) e Cavalcante et al., (2014), o crescimento da palma forrageira é influenciado pela densidade de plantio, tendendo à redução de número, tamanho, forma e peso dos cladódios, com o aumento da densidade populacional.

Silva et al., (2015), na densidade de aproximadamente de 31.250 plantas ha⁻¹, no semiárido brasileiro em condições de sequeiro, no município de Serra Talhada, encontraram para a palma forrageira cv. Miúda, em média 35,44 cladódios por planta. Nesse estudo, a palma forrageira cv. Miúda emitiu mais cladódios na densidade de 20.834 ha⁻¹, apresentando 51,33 cladódios por planta (Figura 2).

A altura da planta foi influenciada significativamente ($P<0,05$) pela densidade de plantas, com efeito linear positivo com o aumento da população de plantas por área. Observou-se valores de 67,67 a 91,25 cm na menor e maior densidade de 10.417 e 83.336 plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 3).

Silva et al., (2015), na densidade de 31.250 plantas ha⁻¹ aos dois anos de cultivo encontraram, altura da palma forrageira cv. Miúda de 68,11 cm, no ano em que a precipitação bienal foi de 1.542,2 mm.

Ao longo do período experimental a precipitação foi de 953 mm, com longos períodos de estiagem, influenciando no crescimento das plantas, que apresentou altura média de 74 cm.

Silva et al., (2014) observaram que a palma forrageira cv. Miúda apresentou altura média de 83 cm. Os autores concluíram que com o aumento da densidade de plantio houve redução na altura da planta. O mesmo observado por Souza (2015), que concluiu que o aumento da densidade de plantas causou uma redução quadrática na altura das plantas.

Resultado diferente do encontrado no presente trabalho, onde foi observado maior altura na maior densidade de plantio.

A cv. Miúda apresenta maior número de cladódios de quarta ordem, representando cerca de 11% do total da planta (Silva et al., 2015), o que pode influenciar positivamente à altura das plantas.

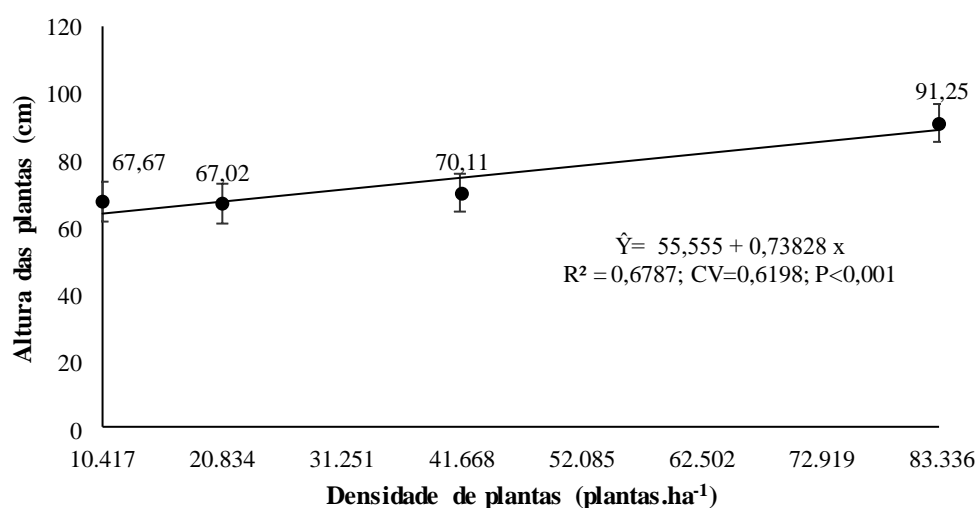


Figura 3. Altura de plantas da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.

Na densidade de 83.336 plantas ha⁻¹, com a proximidade entre as plantas a incidência solar foi limitada, minimizando o surgimento de novos cladódios na parte basal da planta. Observou-se a emissão de cladódios de 4^o ordem na parte superior da planta, onde a incidência luminosa foi maior, além de ser a parte mais jovem da planta, com maior velocidade de crescimento, o cladódio de quarta ordem contribuiu para elevação da altura de planta. Na maior densidade de plantio as plantas foram cerca de 36% mais altas que nas densidades inferiores.

Vale ressaltar que existe relação entre produção e altura de planta. Silva et al., (2010), estudando a relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira, concluíram que a escolha de clones de palma forrageira de maior altura e largura incrementam a produtividade.

A largura das plantas variou significativamente ($P<0,05$) com a frequência de colheita, sendo 81,6 cm na frequência de colheita anual e maior largura, 89,1 cm na frequência de colheita bienal (Figura 4). E não variou significativamente ($P<0,05$) com a densidade de plantas.

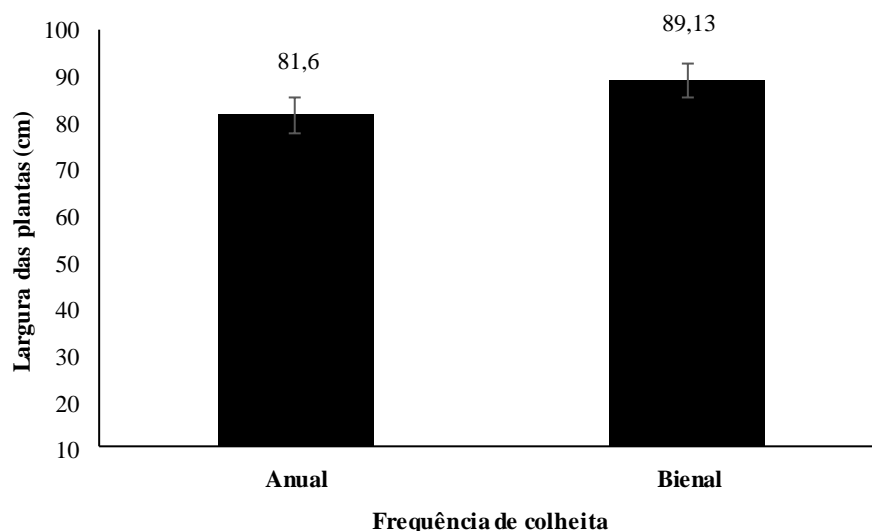


Figura 4. Largura de plantas da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.

Segundo Silva et al., (2010), a largura da planta apresenta correlação moderada com a produção de matéria seca, porém essa correlação se deve muito pouco ao seu efeito direto, é influenciada pelos efeitos indiretos principalmente da altura da planta. O baixo efeito da largura da planta pode ser explicado pelo fato de essa característica ser resultante

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

de uma sequência de cladódios em diferentes estágios de crescimento, o que justifica a influência indireta da altura da planta.

Silva et al., (2015) verificaram que a média da largura das plantas de palma forrageira cv. Miúda foi de 84,44 cm, na densidade de aproximadamente 31. 250 plantas ha⁻¹, aos dois anos de cultivo, em condições de sequeiro, no semiárido brasileiro. Valores mais próximos aos encontrados no presente estudo, considerando as condições climáticas apresentadas e ausência de adubação durante o período experimental. Aos dois anos de cultivo, a palma forrageira obteve maior largura.

Em estudo realizado por Souza (2015) na mesma área experimental, observou-se que independente da preservação dos cladódios primários ou secundários, na frequência de colheita anual a largura das plantas foi menor, em relação a frequência de colheita bienal, sendo de 101,7 a 108,82 cm, respectivamente. Tal resultado foi superior ao encontrado no presente estudo, onde a largura da planta foi menor nas duas frequências de colheita, provavelmente devido as variações ambientais, especialmente pouca chuva e restrição de nutrientes, que interferiram no desenvolvimento da planta. Vale ressaltar, que durante o período experimental, além dos longos períodos de estiagem a ausência de adubação, contribuiu para diminuição na largura das plantas.

O índice de área de cladódios (IAC) foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) pela densidade de plantas, variando entre 6,4 e 4,2 nas densidades de 10.417 e 83.336 plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 5).

Na menor densidade de plantio 10.417 plantas ha⁻¹, as plantas apresentam maior números de cladódios, o que acarreta numa maior contribuição sob a incidência de luz, conseqüentemente maior IAC. Na maior densidade de plantio, o IAC foi de 4,22, apesar de

mais baixo, encontra-se na faixa preconizada por Nobel e Bodich (2002) que indicam a máxima produtividade em *Opuntia ficus indica* com IAC entre 4 e 5.

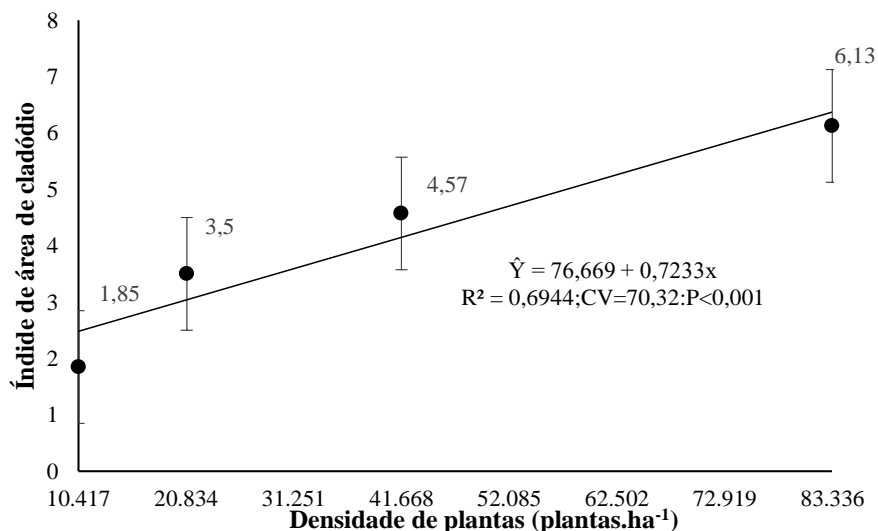


Figura 5. Índice de área de cladódios (IAC) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.

De acordo com Nobel (1995), a produtividade aumenta à medida que o IAC aumenta, até certo ponto. A palma apresentou maior produtividade na maior densidade de plantio (83.336 plantas/hectare), onde o IAC foi maior.

Segundo Silva et al., (2015), a palma forrageira cv. Miúda apresenta cladódios de quarta ordem, representando cerca de 11% do total da planta. De acordo com Pinheiro et al., (2014), o perímetro dos cladódios de quarta ordem, é a variável mais importante na expressão do IAC da palma forrageira cv. Miúda.

Por outro lado, Rego et al., (2014), em condições irrigadas, encontraram IAC médio de 3,64 da palma forrageira cv. Miúda aos 365 dias de avaliação, preservando-se os cladódios secundários com densidade de 50.000 plantas ha⁻¹. Já Souza (2015), realizando

estudo na mesma área experimental, encontrou um IAC de 5,38 para a densidade de 68,8 mil plantas por hectare, sendo próximos aos observados no presente trabalho.

A produtividade da palma forrageira foi significativamente ($P < 0,05$) influenciada pela densidade de plantas. Houve efeito linear positivo da densidade de plantas sobre a produtividade (Figura 6), a qual variou de 9,42 a 30,01 t de MS $\text{ha}^{-1} 2 \text{ anos}^{-1}$, nos tratamentos com 10.417 e 83.336 plantas ha^{-1} , respectivamente. A maior produtividade na maior densidade pode ser justificada pelo aumento do número de plantas por área, aumentando assim o índice de área de cladódios e, conseqüentemente, a eficiência fotossintética causada pela redução de solo descoberto (Nobel e Bodich, 2002; Silva et al., 2016a).

Para a densidade de 10.417 plantas ha^{-1} houve uma redução de 35,03% na produtividade bienal e na densidade de 83.336 plantas ha^{-1} , essa redução foi de 11,47%, quando comparados ao trabalho desenvolvido por Souza (2015), que observou produtividade de 22,9 e 46,6 t de MS $\text{ha}^{-1} 2 \text{ anos}^{-1}$ nas densidades de 10.417 e 83.336 plantas ha^{-1} , respectivamente.

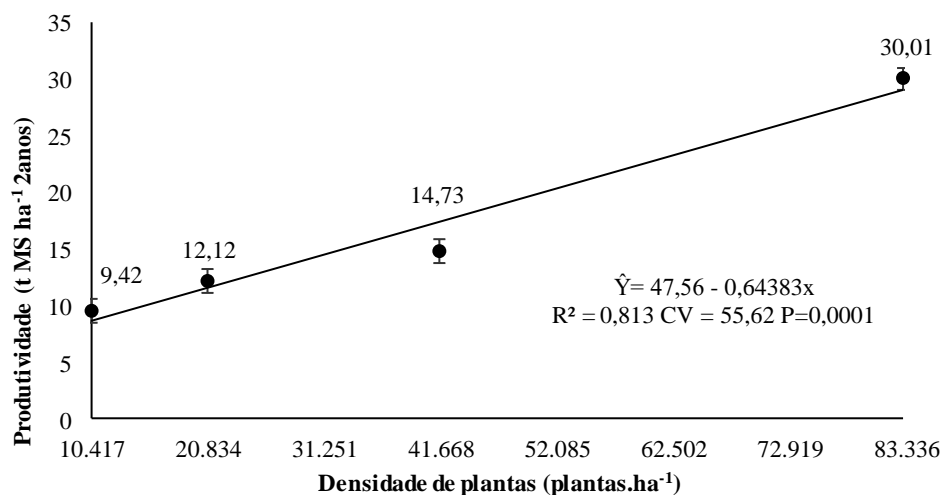


Figura 6. Produtividade (t de MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.

O plantio adensado elevou a produtividade (toneladas ha⁻¹), apresentando aumento de 31,39 % com o aumento da densidade de plantas de 10.417 para 83.336 plantas ha⁻¹. Espinoza et al., (2008), Ramos et al., (2011) e Cavalcante et al., (2014) também observaram que o aumento da densidade de plantio resultou em elevação da produtividade.

Souza et al., (2017) observaram na densidade de 40.000 plantas ha⁻¹, a produtividade de 20,4 t ha⁻¹ 2 anos⁻¹, no município de Caruaru – PE. Tal produtividade foi superior aos valores encontrados no presente estudo, e pode ser justificado pela adubação nitrogenada e adubação fosfatada, que ocorreu durante período experimental no referido trabalho. Segundo Silva et al., (2016), a aplicação de 80 t de estrume bovino ha⁻¹ promove maior produtividade em diferentes densidades de plantio, e a melhor eficiência de fertilização orgânica ocorre em plantações mais densas.

Silva et al., (2014) observaram nas densidades de 10.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ a produtividade de 8,5 e 44,7 t de MS ha⁻¹, respectivamente, para a palma forrageira cv.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Miúda. Esses autores concluíram que a adubação mineral e orgânica, na colheita anual com a preservação dos cladódios primários, promoveu aumento na produtividade. Muito superior ao encontrado no presente estudo. Assim, observou-se que a adubação é essencial para o aumento significativo na produtividade, em regiões onde as chuvas são escassas e o acesso a adubo adequado para o manejo da cultura é limitado.

Na menor densidade de plantio, a baixa produtividade observada pode ser justificada pela perda de parte da energia luminosa, provavelmente devido ao menor número de cladódios (solo descoberto), resultando em baixa eficiência na conversão desta energia em produção de biomassa por área. Dentre os fatores que podem influenciar a produtividade da palma forrageira, estão a fertilidade do solo, pluviosidade, densidade de plantio, vigor das mudas, ataque de pragas e doenças. Observou-se que a ausência de adubação orgânica e mineral, e a pouca chuva, foram determinantes para a produtividade da palma forrageira cv. Miúda.

A eficiência de uso da chuva da palma forrageira foi significativamente ($P < 0,05$) influenciada pela densidade de plantas. Sendo efeito linear positivo (Figura 7). Observou-se que na menor e na maior densidade de plantio, a eficiência de uso da chuva da palma foi de 12,49 e 32,23 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ de chuva, respectivamente.

Em ambientes semiáridos é uma variável relevante, pois reflete a capacidade da cultura de tolerar as condições de baixa precipitação, longos períodos de estiagem e distribuição irregular da chuva.

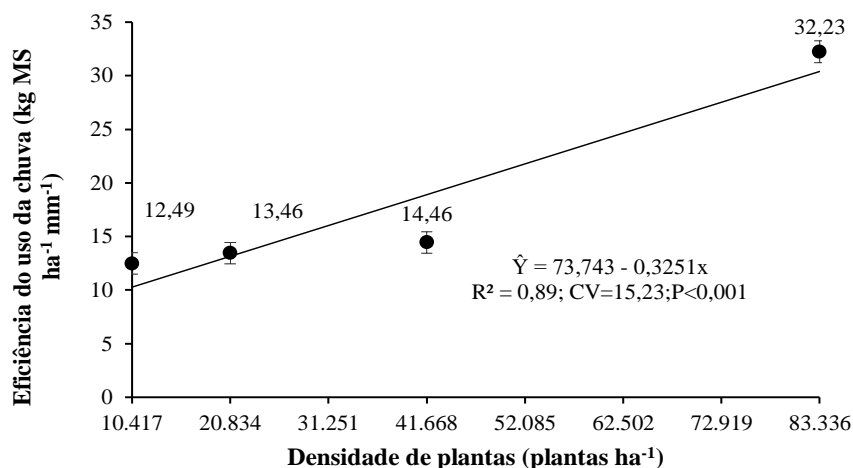


Figura 7. Eficiência do uso da chuva (kg de MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.

Devido à rusticidade e potencial de produção em condições de pouca disponibilidade de água, a palma tornou-se um relevante recurso para a alimentação animal, é um dos nutrientes mais escassos nas regiões semiáridas. A palma foi mais eficiente na maior densidade de plantas e apresentou 32,23 kg MS ha⁻¹ por mm⁻¹ de chuva.

Ferraz., (2018), avaliando clones de palma forrageira no agreste e sertão pernambucano, levando em consideração o somatório da evapotranspiração real para período, encontrou valores de 20,09 e 15,30 kg MS ha⁻¹ por mm⁻¹ de água na primeira e segunda colheita, respectivamente. O autor relata que a redução da produtividade e a baixa precipitação na segunda colheita impactou negativamente a eficiência de uso da chuva.

Silva et al. (2014a), estudando os indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido brasileiro, considerando a relação entre o rendimento e a evapotranspiração real acumulada ou a

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

precipitação recebida pela cultura ao longo do tempo, encontraram que o clone Orelha de elefante mexicana foi o clone de maior eficiência no uso da água. Todavia, quando se assumiu o volume de água evapotranspirada pelos clones, a IPA Sertânia também apresentou altos valores de eficiência. Em ambos os casos, a Miúda foi o clone menos eficiente. A palma Miúda apresentou eficiência de $7,4 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, considerando a precipitação apresentada, com densidade de $31.250 \text{ plantas ha}^{-1}$. Valores próximos aos encontrados no presente estudo, em que a eficiência nessa densidade foi de aproximadamente $13 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ chuva. Segundo Dubeux et al. (2006), estas variações ocorrem com base em vários aspectos, dentre eles espaçamento, adubação e condições climáticas, e conforme o clone.

A produtividade apresentou melhores coeficientes de correlação na densidade de $41.668 \text{ plantas ha}^{-1}$, (Tabela 2). Nessa densidade, a palma forrageira cv. Miúda apresentou a produtividade $14,73 \text{ t de MS ha}^{-1} \text{ 2 anos}^{-1}$, provavelmente nessa densidade todas as variáveis, altura e largura da planta, índice de área do cladódio, número de cladódio por planta apresentaram-se favoráveis ao desenvolvimento da planta.

A produtividade correlacionou-se significativamente com o IAC e com o número de cladódio por plantas, que na densidade de $41.668 \text{ plantas ha}^{-1}$, as plantas apresentaram em média 41 cladódios e IAC de 6,09. A influência direta do número total de cladódios se reflete no índice de área de cladódio, essa medida é de grande importância para a estimativa da capacidade fotossintética da palma forrageira, que pode ser usada na mensuração da produtividade (Oliveira Junior et al., 2009).

A produtividade melhor correlacionou-se de forma positiva com o índice de área de cladódio, provavelmente devido ao número de cladódios por planta encontrados nessa densidade (Tabela 2). As relações entre essa característica e a produtividade da palma

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

forageira é um dado de grande relevância para a compreensão da resposta da palma forrageira as condições do ambiente cultivado.

O índice de área de cladódio e o número de cladódios por planta se correlacionaram significativamente ($P < 0,05$) com a produtividade. Segundo Pinheiro et al., (2014), observaram que o comprimento dos cladódios de quarta ordem (efeito direto e positivo sobre o índice de área do cladódio) e o perímetro médio dos cladódios de terceira e quarta ordem (efeito direto e indireto) são os principais contribuintes no índice de área do cladódio palma forrageira cv. Miúda. Esse cultivar apresenta elevada quantidade de cladódios terciários e quaternários, o que explica a maior contribuição dessas variáveis no índice de área de cladódio. Apesar desses cladódios apresentarem menor área fotossintética, estão presentes em grande quantidade, refletindo em maior produtividade.

Na maior densidade de plantio, o número de cladódios por planta é menor, porém existem oito vezes mais plantas que na menor densidade, assim, justifica-se a maior produtividade por área na maior densidade de plantio.

A altura da planta correlacionou-se significativamente ($P < 0,05$) com a largura da planta, índice de área de cladódio e com o número de cladódio (Tabela 2). Os coeficientes de correlação para variável altura da planta indicam que plantas mais altas possuem maior largura, maior número de cladódios por planta e conseqüentemente maior índice de área de cladódios. Fator determinante no incremento da produtividade, apesar dessa variável (altura da planta) não se correlacionar significativamente com a produtividade no presente estudo.

Silva et al., (2010), estudando 50 clones de palma (49 da espécie *Opuntia ficus indica* e um da espécie *Nopalea cochenillifera*), concluíram que a altura associada à largura da planta, podem explicar melhor o potencial de produção de matéria seca em $t\ ha^{-1}$ 2anos.

Tabela 2. Coeficientes de correlação fenotípica entre as características morfológicas e a produtividade (t/ha/2anos) da palma forrageira cv. Miúda, na densidade de 41.668 plantas ha⁻¹.

Variável	Altura	Largura	IAC	NC	PMS
Altura	NS	0,64**	0,45**	0,80**	NS
Largura			NS	NS	NS
IAC				NS	0,72**
NC					0,67**
PMS					NS

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$), pelo teste t. IAC – Índice de área de cladódio; NC – Número de cladódio por planta; PMS – Produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}\ 2\ anos^{-1}$).

Vale ressaltar que o número de cladódio é uma variável de fácil mensuração, que pode ser medida sem que haja destruição da planta. Essa variável apresentou alta correlação positiva significativa com altura, largura e o índice de área de cladódio. A emissão de novos cladódios, de terceira e quarta ordem promovem o aumento da altura e largura da planta, proporcionando dessa forma um aumento no índice de área de cladódio.

Os cladódios mãe e os de primeira ordem são aqueles com maior disponibilidade de superfície assimiladora e, como tal, são os principais responsáveis pela sustentação da planta e distribuição de nutrientes e água para os demais órgãos da planta (Queiroz et al., 2015). Em seguida, a maior proporção do IAC ocorre nos cladódios de segunda, terceira ordem e basais, respectivamente. Devido os cladódios de terceira ordem se encontrarem novos e pequenos, com valores de área baixos, sua contribuição para o IAC ainda é pouco expressiva, dependendo do manejo adotado.

O teor de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) pela densidade de plantio. Houve efeito linear positivo da densidade de plantas sobre o teor de matéria seca. O valor da matéria seca variou entre 71,2

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

e 85 g kg⁻¹, nas densidades de 10.417 e 83.336 plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 8). Valores próximos foram observados por Cavalcante et al., (2014), que encontraram para a palma forrageira cv. Miúda o valor de 77,6 g kg⁻¹ de palma forrageira cv. Miúda, em condições de sequeiro.

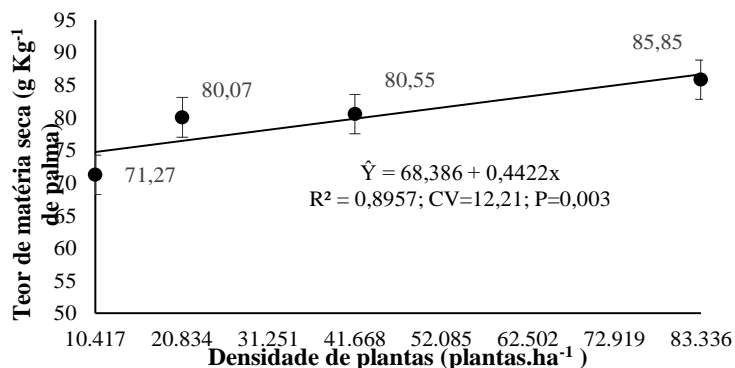


Figura 8. Teor de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.

Os longos períodos de estiagem característico da região semiárida, torna a palma alimento essencial e de excelente qualidade para a sobrevivência do rebanho. Considerando o valor de 71,27 a 85,85 g kg⁻¹ de MS de palma de forrageira, pode-se estimar que a cada quilo de palma ofertado, em média 0,92 litros de água poderá ser fornecido aos animais.

Os altos teores de água disponível por hectare é um fator de grande relevância para as regiões semiáridas, onde a palma pode servir como rica reserva desse nutriente para os animais via alimento.

O teor de matéria foi maior na maior densidade de plantio, aproximadamente 16,98 % maior, quando relacionado à menor densidade de plantio.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

O teor de nitrogênio variou significativamente ($P < 0,05$) com a densidade de plantas (Figura 9), apresentando na menor e maior densidade de plantio 25,7 e 16,9 g kg⁻¹, respectivamente.

Valores mais elevados de nitrogênio da palma forrageira estão associados a menor densidade de plantio, devido ao efeito de concentração desse nutriente. Com o desenvolvimento da planta, ocorrem alterações fisiológicas como redução do conteúdo celular, que possui mais carboidratos estruturais (Nobel, 2002).

Cavalcante et al., (2014) mencionaram a palma forrageira cv. Miúda apresenta baixos teores de nitrogênio, quando comparada as cultivares Redonda e Gigante. Dentre os cultivares, a palma forrageira cv. Miúda dispõe de maior quantidade de nitrogênio disponível por área, por apresentar maior produtividade. Segundo Dubeux et al., (2010), na maior densidade de plantas, o número e tamanho dos cladódios diminuem, conseqüentemente, há maior teor de nutrientes por cladódio nessas plantas, devido ao efeito de concentração.

De maneira geral, o teor de nitrogênio da palma forrageira é insuficiente para o adequado desempenho animal, quando fornecida exclusivamente, (Ferreira et al., 2009), recomenda-se utilizar a palma associada a uma fonte de proteína. Com o intuito de elevar o teor proteico, a palma pode ser associada a ureia, fontes de proteína verdadeira ou farelo de soja. A associação de uma única fonte suplementar a dieta, em oposição a um concentrado balanceado, facilitaria o manejo possibilitaria a redução de custos, segundo (Pessoa et al., 2010).

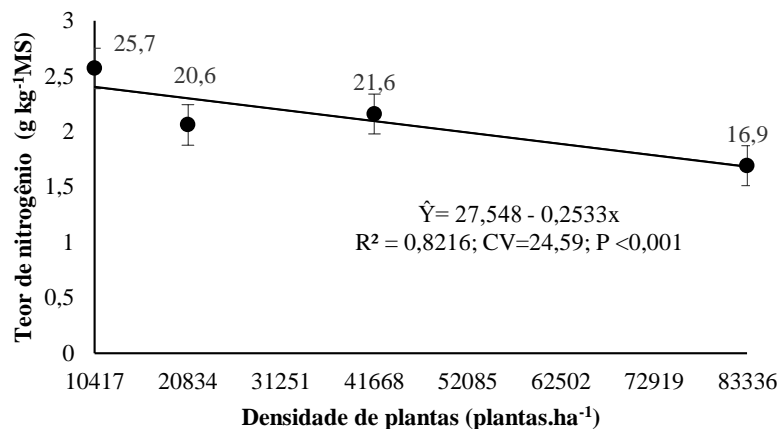


Figura 9. Teor de nitrogênio da forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.

Souza et al., (2017) observaram aos dois anos de cultivo, 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 5,19 a 8,25 g kg⁻¹ MS com os níveis crescentes de N, de 0 a 600 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. E na menor densidade de plantas 5.000 plantas ha⁻¹, observaram que o teor de N foi maior.

Já Souza (2015), na mesma área experimental em anos anteriores, na colheita bienal encontrou o teor de nitrogênio entre 10,796 e 15,21 g kg⁻¹, mais próximo dos valores encontrados no presente trabalho.

O teor de cálcio variou significativamente ($P < 0,05$), tendo o feito linear positivo, com a densidade de plantas (Figura 10), sendo observados valores de 12,4 e 9,4 g kg⁻¹ nas densidades de 10.417 e 83.336 plantas ha⁻¹, respectivamente. Segundo Melo et al., (2003),

dietas compostas com palma apresentam elevado teor de matéria mineral devido a alta concentração de macroelementos minerais que a mesma contém.

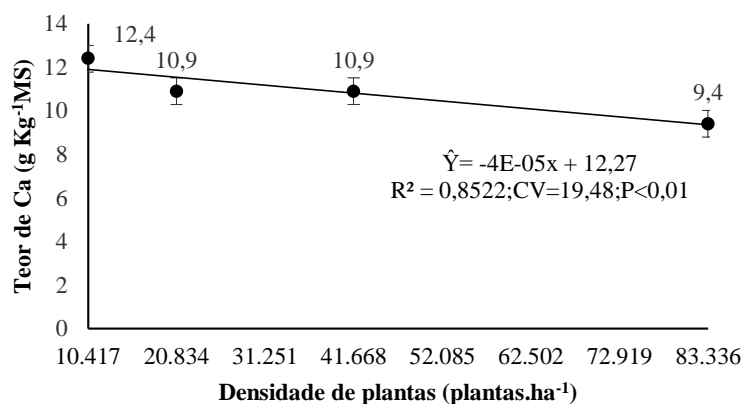


Figura 10. Teor de cálcio em plantas da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a densidade de plantas. As barras indicam erro padrão.

Segundo Santos et al., (2005), a concentração de Ca na palma forrageira varia de 10,0 a 86,6 g kg⁻¹ na matéria seca. Batista et al., (2009) encontraram para a palma forrageira cv. Miúda teor de 21,41 g kg⁻¹. No presente estudo os valores de Ca, foram relativamente baixos, quando comparados aos estudos supracitados. Contudo, fatores relacionados as variações ambientais, como o período de seca prolongado, provavelmente afetaram os teores desses minerais. Além disso, o Ca reduziu cerca de 24%, a medida que a densidade de plantas aumentou.

Silva et al., (2012) estudaram a composição mineral de cladódios de palma forrageira cv. Gigante sob diferentes espaçamentos e adubação química, e encontraram teor

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

de cálcio nos tecidos dos cladódios aos 390 dias após o plantio em média $17,5 \text{ g kg}^{-1}$, independente dos espaçamentos utilizados. E aos 620 dias após o plantio a palma apresentou $30,0 \text{ g ka}^{-1}$. Valores superiores aos encontrados no presente trabalho, devido a palma apresentar alta interação com o ambiente cuja absorção de nutrientes e desenvolvimento vegetativo está em função do tipo de cultivo, genótipo e fatores edafoclimáticos. A utilização de diferentes densidades de plantio ou população de plantas ou, mesmo, do arranjo ou distribuição de plantas na área, pode resultar em mudanças na absorção de nutrientes pelas plantas e conseqüentes diferenças nos teores dos elementos nos tecidos.

Vale ressaltar, que em plantio adensado, apesar de fornecer a mesma área ocupada por planta, resulta em plantas mais próximas ao longo da fileira, concentrando o sistema radicular e aumentando a concorrência na zona de absorção, o que limita a área explorada e a disponibilidade de nutrientes (Silva et al., 2016).

A palma responde bem a poucos milímetros de chuva em períodos regulares, entretanto, isso não é suficiente para manter as condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Assim como toda cultura que é removida e ofertada aos animais no cocho, as contribuições da deposição de fezes e urina ao sistema de produção são descartadas. Segundo Dubeux e Santos (2005), a palma extrai cerca de $23,5 \text{ kg}$ de cálcio do solo a cada tonelada de matéria seca produzida.

Tendo em vista que a palma Miúda apresentou produtividade de $30,01 \text{ t MS ha}^{-1} 2 \text{ anos}^{-1}$ (Figura 6), a extração de cálcio resultaria em 705 kg de cálcio retirados do solo ao final de dois anos, sem que houvesse reposição via adubação orgânica ou mineral durante o período experimental.

Assim, em cultivos mais adensados, em que se encontra maior produtividade, é natural que a palma apresente menores teores de Ca, assim como na menor densidade de plantas maiores teores de Ca.

O teor de sódio não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores testados. O teor médio de Na encontrado foi de $0,00257 \text{ g kg}^{-1}$, muito superior ao encontrado por Batista et al., (2009), que observaram teores de sódio de $0,00006 \text{ g kg}^{-1}$ para a palma forrageira cv. Miúda cultivada no semiárido brasileiro.

Silva et al., (2012) encontraram aos 620 dias após o plantio $0,04044 \text{ g kg}^{-1}$ de sódio. Valor superior ao encontrado no presente estudo, provavelmente devido à ausência de adubação e pouca chuva durante o período experimental. A deficiência de Na induz nas plantas, clorose e necrose, além de falha na formação de flores, o que pode influenciar negativamente na produtividade da planta (Epstein e Bloom, 2006). No entanto, no presente estudo não houve sinal que o sódio tenha influenciado negativamente a produtividade.

Valores observados por Souza (2015), em anos anteriores na mesma área experimental, foi de $0,86 \text{ g kg}^{-1}$, apresentando-se muito superior ao encontrado no presente estudo.

O teor de magnésio não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores avaliados, apresentando teor médio de $0,01798 \text{ g kg}^{-1}$. Tal nutriente apesar de ser requerido em grande quantidade pelas plantas, poucas vezes é limitador de crescimento (Epstein e Bloom, 2006).

Batista et al., (2009) e Santos et al., (2005) relataram teor do magnésio na palma forrageira cv. Miúda de $0,01013 \text{ g kg}^{-1}$ e $0,0104 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, indicando que os valores de magnésio encontrados nesse estudo foram relativamente altos. Tal resultado

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

pode ser associado ao fato da concentração desse elemento ter sido maior devido ao a grande irregularidade de chuvas que ocorreu durante o período experimental (Figura 1).

Dubeux et al., (2010) relataram teores de magnésio dentro da faixa encontrada por Nobel et al., (1987), que foi de 6,4 a 1,9 g kg⁻¹ em plantas *Opuntia engelmannii* cultivadas em Coahuila, México.

O teor de potássio nos cladódios não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores avaliados. O teor médio de K encontrado foi de 26,84 g kg⁻¹. Fatores como composição mineral do solo, ausência de umidade, temperaturas relativamente elevadas durante o período experimental podem ter ocasionado uma redução nos teores de elemento.

Teores relatados por Batista et al., (2009) foram de 0,00864 g kg⁻¹, porém os autores justificaram que este estudo relatou valores mais baixos quando comparados a estudos anteriores. Silva et al., (2012) encontraram aos 620 dias após o plantio em média 249 g kg⁻¹, na palma forrageira cv. Gigante, esses valores variaram com as adubações, independente dos espaçamentos adotados e não diferiram ao em relação aos dias após o plantio.

Os valores encontrados não mostram sinais de deficiência desse elemento na cultura, ressaltando que durante o período estudado a mesma apresentou valores crescentes de produtividade (Figura 6) à medida que aumentou a densidade de plantas. Segundo Novais e Melo (2007), esse elemento não é limitante no solo, uma vez que ocorre reposição para a solução, pela reserva da fase sólida do solo na medida em que é absorvida da solução.

Souza (2015) encontrou valores médios de 56, 54 g kg⁻¹. Praticamente o dobro do encontrado no presente trabalho. O que pode estar relacionado a diversos fatores, como a ausência de adubação, controle de plantas daninhas e a pouca chuva. Valores tão distintos

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

podem ser decorrentes da competição por nutrientes entre as raízes e está relacionado com a mobilidade dos nutrientes no solo e limitação de água no solo.

5. CONCLUSÃO

A frequência de colheita bienal proporciona maior produtividade, maior eficiência de uso da chuva, altura e largura da planta de palma forrageira cv. Miúda.

A produtividade da palma forrageira cv. Miúda correlaciona-se positivamente com o índice de área de cladódio, o número de cladódio por planta e a população por área de até 83.336 plantas ha⁻¹.

O teor de matéria seca é maior na densidade de plantio 83.336 plantas ha⁻¹.

Os teores de potássio e magnésio não são influenciados por nenhum dos fatores testados. O teor de cálcio é maior na menor densidade de plantio e o teor de sódio é baixo nas diferentes densidades. O teor de nitrogênio da palma reduz com o aumento da densidade de plantio. Recomenda-se a densidade populacional de 83.336 plantas ha⁻¹ (1,20 x 0,10 m) com frequência de colheita bienal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, A.M.V.; Ribeiro Neto, A.C.; Lucena, R.B.; Santos, D.C.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Mustafa, A.F. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology e Management* 62, 297-301.
- Bezerra Neto, E., Barreto, L.P. 2011. Análises Químicas e Bioquímicas em plantas. Editora Universitária da UFRPE. 267p.
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Silva, M. A. 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 4, p. 424-433.
- Dubeux, Jr, J.C.B.; dos Santos, D.C.; Lira, M. de A.; dos Santos, M.V.F.; Lima, G.F da C.; Mello, A.C.L.; Ferreira, M. de A.; Cunha, M.V. 2015. Global use of cactus as livestock feed. In H.O. De Waal, M. Louhaichi, M. Taguchi, H.J. Fouche e M. de Wit, eds. *Development of cactus pear agroindustry for the sub-Saharan African Region. Proceedings of the International Workshop, 27-28. University of the Free State, Bloemfontein, South Africa. P. 96.*
- Dubeux Júnior, J.C.B.; Salem, H.B.; Nefzaoui, A. 2017. Forage Production and supply for animal nutrition. 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, 73-90.*
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Cavalcante, M.; Santos, D.C. 2013. Potential of cactus pear in South America. *Cactusnet Newsletter*, v. 13, ed. esp., p. 29-40.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M.V.F.; Lira, M.A.; Santos, D.C.; Lima, L.E.; Ferreira, R.L.C. 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in Northeast Brazil. *Journal of Arid Enviroments, Oxford*, v. 67, n. 3, p. 357-372.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Araújo Filho, J.T.; Lira, M.A.; Santos, D.C.; Pessoa, R.A.S. 2010. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 1, p. 129-135.
- Dubeux Júnior, J.C.B.; Santos, M.V.F. 2005. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: Menezes, R. S. C; Simões, D. A.; Sampaio, E V. S. B. (Eds.). *A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso. 1. ed. Editora da UFPE*, p.105-128.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. 2006. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta. p 403.*
- Espinoza, F. H. R.; Alvarado-Mendoza, J.F.; Murillo-Amador, B.; García-Hernández, J.L.; Pargas-Lara, R.; Duarte-Osuna, J.D.; Beltrán-Morales, F.A.; Fenech-Larios, L. 2008. Rendimiento y crecimiento de nopalitas de cultivares de nopal (*Opuntia ficus-indica*)

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

bajo diferentes densidades de plantación. Journal of the Professiona Association for Cactus Development, Chapingo, v. 10, n. 1, p. 22-35.

Ferraz, A.P.F. 2018. Avaliação de clones de palma forrageira no agreste e sertão pernambucano. 115 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Ferreira, M.A.; Silva, R.R.; Ramos, A.O.; Vêras, A.S.C.; Melo, A.A.S.; Guimarães, A.V. 2009. Síntese de proteína microbiana e concentrações de ureia em vacas alimentadas com dietas à base de palma forrageira e diferentes volumosos. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, n.1, p.159-165.

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. 2017. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Vol. 25 (1-2):1-23.

Melo, A. A. S.; Ferreira, M. A.; Verás, A. S. C.; Lira, M. de A.; Lima, L. E. de; Vilela, M. da S.; Melo, E. O. S. de; Araújo, P. R. B. 2003. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação.1. Desempenho 1. Revista Brasileira de Zootecnia, v.32, n.3, p.727-736.

Nascimento, J. P.; Souto, J.S.; Santos, E.S.; Damasceno, M.M.; Ramos, J.P.F.; Sales, A.T.; Leite, M.L.M.V. 2011. Caracterização morfométrica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. Tecnologia e Ciência Agropecuária, João Pessoa, v. 5, n. 3, p. 21-26.

Nobel, P. S.; Russel, L. E.; Felker, P. Fernandes, A. P. M.; Freitas, E. V.; Moreira, J. A. Medina, J. G.; Acuña, E. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. Agronomy Journal, v.79, n.3, p.550-555.

Nobel, P. S.; Barbera, G.; Inglese, P.; Pimienta-Barríos, E. 1995. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, p.36-48 (FAO. Plant Production and Protection, 132).

Nobel, P.S.; Bobich, E.G. 2002. Environmental Biology. Cacti: Biology and Uses, University of California Press, p.57-74.

Novais, R.F.; Mello, J.W.V. 2007. Relação solo planta. In.: Fertilidade do Solo. NOVAIS, R.F. (Ed) Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, p. 134-204.

Oliveira, F.T.; Souto, J.S.; Silva, R.P.; Andrade Filho, F.C.; Pereira Júnior, E.B. 2010. Palma forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.5, p.27-37.

Pessoa, R.A.S.; Leão, M.I.; Ferreira, M.A.; Valadares Filho, S.C.; Santos, D.C.; Silva, F.M.; Bispo, S.V. 2010. Desempenho leiteiro de vacas alimentadas com palma

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

forrageira, bagaço de cana-de-açúcar e ureia associados a diferentes suplementos. *Revista Científica de Produção Animal*, v.12, n.1, p.93-97.

Pinheiro, K.M.; Silva, T.G.F.; Carvalho, H.F.S.; Santos, J. E.O.; Morais, J. E. F.; Zolnier, S.; Santos, D.C. 2014. 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.

Queiroz, M. G.; Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Servulo, M. S.; Silva, L. R. L.; Alves, J.O. 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.19, n.10, p.931–938.

Ramos, J. P. F.; Leite, M.L.M.V.; Oliveira Junior, S.; Nascimento, J.P.; Santos, E.M. 2011. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Caatinga, Mossoró*, v. 24, n. 3, p. 41-48.

Rego, M.M.T.; Lima, G.F.C.; Silva, J.G.M.; Guedes, F.X.; Dantas, F.D.G.; Lôbo, R.N.B. 2014. Morfologia e Rendimento de Biomassa da Palma Miúda Irrigada sob Doses de Adubação Orgânica e Intensidades de Corte. *Rev. Cient. Prod. Anim.*, v.16, n.2, p.118-130.

Sales, A.T.; Andrade, A.P.; Silva, D.S.; Vieira, M.L.M.; Viana, B.L.; León, M.J.; Sólis, A.M. 2009. Adaptation potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the Semi-Arid in Paraíba State, Brazil. *Acta Horticulturae*, v.811, p.395-400.

Santos, M.V.F.; Ferreira, M. A.; Batista, A.M.V. 2005. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso. *UFPE*. v.1, p.143-162.

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. 2006. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. *IPA. Documentos*, 30, p.48.

Santos, M.V.F.; Lira, M.A.; Dubeux Jr., J.C.B.; Ferreira, M. A.; Cunha, M.V. 2010. Palma forrageira. In: Fonseca, D.M.; Martuscello, J. A. (Eds) *Plantas Forrageiras*. Editora UFV. 459-493.

SAS Institute. 2013. The SAS system for Windows. Release 9.4. SAS Inst., Cary, NC.

Silva, J. A.; Bonomo, P.; Donato, S.L.R.; Pires, A.J.V.; Rosa, R.C.C.; Donato, P.E.R. 2012. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, supl., p. 866-875.

Silva, N.G.M.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Cunha, M.V.; Lira, M. A.; Ferraz, I. 2016a. Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. *Revista Caatinga*, v.29, n.4, p.976-983.

- Silva, J.A.; Donato, S. L. R.; Donato, P. E. R.; Souza, E.S.; Padilha Júnior, M.C. e Silva Junior, A.A. 2016. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.20, n.6, p.564-569.
- Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Viegas, P.A.A.; Muniz, E.E.; Rangel, J.H.A.; Moreira, A.L.; Backes, A.A. 2014. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, v.44, n.11, p.2064-2071.
- Silva, N.G.M., Lira, M.A., Santos, M.V.F., Dubeux Júnior, J.C.B., Mello, A.C.L., Silva, M.C. 2010. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39, 2389-2397.
- Silva, T. G. F.; Primo, J. T. A.; Morais, J.E.F.; Diniz, W.J.S.; Souza, C.A.A.; Silva, M.C. 2015. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 2, p. 10 – 18.
- Silva, T.G.F.; Primo, J.T.A.; Silva, S.M.S.; Moura, M.S.B.; Santos, D.C.; Silva, M.C.; Araújo, J.E.M. 2014a. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. *Bragantia*, Campinas, v. 73, n. 2, p.184-191.
- Souza, T.C. 2015. Sistemas de cultivo para a palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). 120 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- 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. 2017. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*., Recife, v.12, n.4, p.555-560.
- Oliveira Junior, S.; Barreiro Neto, M.; Ramos, J.P. F.; Leite, M.L.M.V.; Brito, E.A.; Nascimento, J.P. 2009. Crescimento vegetativo da palam forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. *Tecnologia e Ciência agropecuária*, v.3, p.7-12.

CAPITULO III

**Produtividade, características morfológicas e composição mineral da palma
forrageira cv. Miúda sob duas frequências de colheita e adubação residual**

Produtividade, características morfológicas e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda sob duas frequências de colheita e adubação residual

1. RESUMO

Objetivou-se avaliar a produtividade, composição mineral, e características morfológicas da palma forrageira cv. Miúda sob efeito residual da adubação orgânica e mineral em duas frequências de colheita. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) no município de Caruaru. Os fatores testados foram os níveis de adubação orgânica residual (0, 10, 20, e 30 t de MO ha⁻¹), níveis de adubação mineral residual (0, 120, 240 e 360 Kg de N ha⁻¹) em duas frequências de colheita (anual e bienal). O delineamento experimental utilizado foi o casualizados em blocos, com arranjo de parcelas subdivididas e quatro repetições. As variáveis mensuradas foram produtividade (t ha⁻¹), eficiência do uso da chuva, matéria seca, número de cladódios por planta, índice de área de cladódio, altura da planta, largura da planta, teores de N, Na, K, Ca e Mg. A medida que se elevou o nível de adubação orgânica residual o número de cladódio e altura da planta foi maior. A largura da planta variou de 36 a 56 cm, com o efeito residual da adubação orgânica. O IAC foi 3,2 na colheita bienal e a produtividade 19,88 t MS⁻¹ ha⁻¹ 2 anos. A medida que o nível de adubação orgânica residual aumentou na cultura, na frequência bienal, a produtividade, altura e largura da planta, número de cladódios por planta e o índice de área de cladódios também aumentaram. A produtividade foi de 20 t MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹, na adubação orgânica residual de 30 t ha⁻¹. A eficiência de uso da chuva na adubação orgânica residual de 30 t ha⁻¹ foi de 19,88 kg MS ha⁻¹ por mm⁻¹ de chuva.

Palavras-chave: adubação, cactácea, metabolismo ácido das crassuláceas (CAM)

Productivity, morphological characteristics and mineral composition of cactus pear cv. Miúda under two harvest frequencies and residual fertilization

ABSTRACT

The objective was to evaluate the productivity, mineral composition, and morphological characteristics of forage palm cv. Minimal effect of organic and mineral fertilization on two harvest frequencies. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) in the municipality of Caruaru. The factors tested were the levels of residual organic fertilization (0, 10, 20, and 30 t of MO ha⁻¹), levels of residual mineral fertilization (0, 120, 240 and 360 kg of N ha⁻¹) at two harvest frequencies (annual and biennial). The experimental design was the randomized blocks, with arrangement of subdivided plots and four replications. The variables measured were productivity (t ha⁻¹), rainfall efficiency, dry matter, number of cladodes per plant, cladode area index, plant height, plant width, N, Na, K, Ca and Mg. As the level of residual organic fertilization increased, the number of cladodium and height of the plant was higher. The plant width varied from 36 to 56 cm, with the residual effect of organic fertilization. The IAC was 3,2 in the biennial crop and yield 19.88 t MS ha⁻¹ 2 years. As the level of residual organic fertilizer increased in crop, biennial frequency, productivity, plant height and width, number of cladodes per plant and cladode area index also increased. The yield was 20 t DM ha⁻¹ 2 years⁻¹, in the residual organic fertilizer of 30 t ha⁻¹. Rainfall efficiency in the 30 t ha⁻¹ residual organic fertilizer was 19,88 kg DM ha⁻¹ per mm⁻¹ rain.

Key words: fertilization, cactus, acid metabolism of crassulaceae (CAM)

2. INTRODUÇÃO

A palma forrageira apresenta papel essencial na produção pecuária regional, sendo a cactácea de maior importância para a alimentação animal nas regiões áridas e semiáridas do Brasil (Silva et al., 2014). Seu cultivo em uma ampla gama de ambientes, resulta em grandes diferenças na sobrevivência e desenvolvimento da planta, bem como, na expressão do seu potencial de cultivo em cada região (Inglese et al., 2017). Os sistemas de cultivo utilizados para palma forrageira são caracterizados pelo corte das plantas e fornecimento aos animais no cocho. Dessa forma, a não reposição desses nutrientes retirados pelas plantas, o que causa deterioração das características físicas, químicas e biológicas do solo em decorrência da redução dos teores de matéria orgânica e dos nutrientes.

Diante de sucessivos anos secos com registros de pluviosidade abaixo da média histórica, compromete-se a prática de adubação, refletindo assim em uma baixa disponibilidade de nutrientes no solo, além de escassez de água que já é o problema direto causado pela estiagem. Um importante aspecto a ser considerado é o efeito residual da adubação na produtividade das culturas, uma vez que o custo e a baixa disponibilidade de adubos dificultam a fertilização anual dos solos. A eficiência residual dos nutrientes sobre o rendimento das plantas, depende principalmente de alguns fatores como condições climáticas, tipo de solo, capacidade de adsorção e remoção pelas culturas (Silva et al., 2001).

No entanto, o aumento da produtividade de uma cultura, depende de suas características morfológicas e da capacidade de adaptação ao ambiente, as quais favorecem a conversão de água, radiação e nutrientes em fotoassimilados (Firincioglu et al., 2010). Apesar dessa adaptabilidade, o crescimento e desenvolvimento variam com as oscilações

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

das condições meteorológicas. Por isso, é de grande importância o conhecimento da eficiência do uso da água no intuito de observar a tolerância da cultura ao estresse hídrico.

Assim, objetivou-se quantificar a composição mineral e o efeito residual da adubação orgânica e nitrogenada da palma forrageira cv. Miúda na produtividade e características morfológicas em duas frequências de colheita.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) no município de Caruaru, localizado na Região Agreste de Pernambuco, Nordeste do Brasil. As coordenadas geográficas do local experimental são 8°14' S e 35°55' W e elevação de 575 m acima do nível do mar. A precipitação média anual é de 679,2 mm, considerando dados coletados da estação experimental nos últimos 30 anos. O solo da estação experimental de Caruaru é classificado como NEOSSOLO REGOLÍTICO.

O plantio foi realizado entre abril e maio de 2011, utilizando-se cladódios maduros, originados da mesma estação experimental, plantados no sentido vertical e em espaçamento de 1,2 x 0,10 m, o que equivale a uma densidade com 83.333 plantas ha⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais (14,4 x 8,0 m) foram utilizadas para testar os níveis de matéria orgânica residual (0, 10, 20, e 30 t de MO ha⁻¹); as subparcelas (7,2 x 8,0 m) para avaliar as frequências de colheita e a sub-subparcela (14,4 x 2,0 m) para avaliar os níveis de nitrogênio residual (0,120, 240 e 360 Kg de N ha⁻¹). Cada unidade experimental foi formada por seis fileiras de plantas, sendo as duas fileiras laterais e três plantas de cada extremidade consideradas bordaduras. A adubação orgânica foi realizada após o plantio (junho/2011) e após a primeira colheita anual (junho/2012). Antes da adubação orgânica retirou-se subamostras do esterco utilizado, que foram pesadas, acondicionadas em bandejas de alumínio e mantidas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até o peso constante. Posteriormente, as subamostras foram pesadas e moídas em peneira de 2 mm.

Para a determinação do teor de matéria seca e matéria orgânica, pesou-se 2 g do material moído, adicionou-se em cadinhos de porcelana, que foram mantidos em estufa a

105°C por 12 h. Posteriormente, os cadinhos foram retirados da estufa e colocados para esfriar em dessecador contendo sílica e pesados em seguida. Para a determinação do teor de matéria orgânica, os cadinhos com amostras foram queimados em mufla a 600 °C por um período de 4 horas, esfriados em dessecador contendo sílica e pesados.

O esterco utilizado foi coletado em curral em piso de terra e apresentou 40% de matéria orgânica. O esterco utilizado apresentou teores médios de 1,1, 3,74 e 16,5 g kg⁻¹, de N, P e K, respectivamente. A adubação nitrogenada foi realizada utilizando ureia em três datas 23, 28 de junho e 19 de agosto de 2012.

A primeira colheita anual foi realizada preservando apenas o cladódio mãe, em agosto de 2014. A segunda colheita anual e a primeira bienal foram realizadas em agosto de 2015, preservando os cladódios mãe. A precipitação pluvial durante o período experimental foi de 953 mm, tendo ocorrido elevada variação entre os meses, (Figura 1).

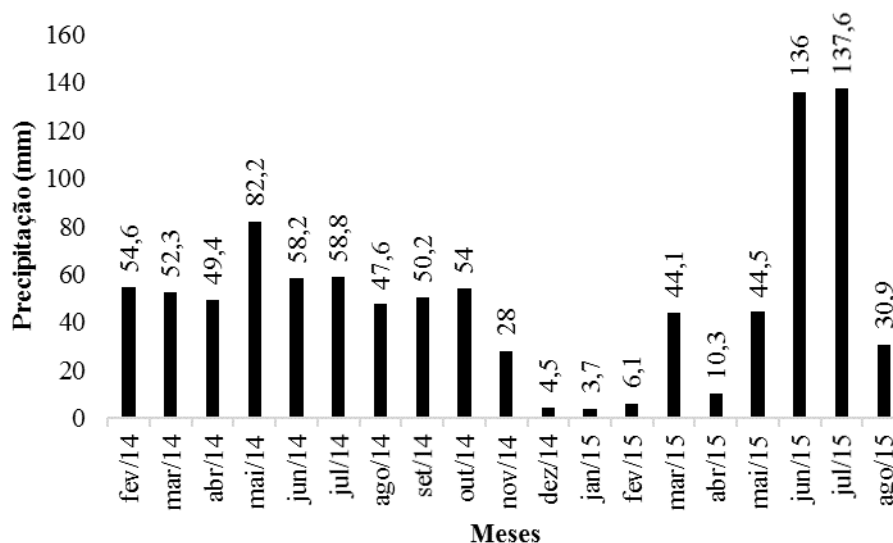


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) em Caruaru, Agreste de Pernambuco, durante o período experimental. Fonte: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA;

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

As variáveis mensuradas foram produtividade ($t\ ha^{-1}$), eficiência do uso da água, número de cladódios por planta, índice de área de cladódios (IAC), altura de plantas, largura de plantas, teores de MS, N, Na, K, Ca e Mg ($g\ kg^{-1}$).

Para a determinação do teor de matéria seca foi retirada uma subamostra das plantas da área útil de cada tratamento, que foram pesadas e mantidas em estufa de circulação forçada de ar a $55\ ^\circ C$ até o peso constante.

Para a determinação da produtividade, todas as plantas da área útil foram colhidas, pesadas e corrigidas pelo teor de matéria seca. A produtividade foi determinada utilizando-se o somatório de duas colheitas anuais comparada com uma colheita bienal.

A eficiência de uso da chuva foi determinada pela relação entre a produtividade de matéria seca e a precipitação do período de crescimento da planta.

Para as demais variáveis analisadas utilizou-se a média de duas colheitas anuais e uma colheita bienal.

O número de cladódios por planta foi determinado pelo somatório dos cladódios por planta, avaliado em duas plantas por área útil no momento da colheita.

A área de cladódios foi determinada pelo desenho de todos os cladódios em papel A4, utilizando duas plantas por área útil. Para determinar a relação peso/área do papel A4, pesou-se 75 amostras de $1\ cm^2$ do papel utilizado. O índice de área de cladódios (IAC) foi obtido dividindo-se o somatório da área de todos os cladódios da planta pela área de solo ocupada por cada planta. Na determinação do IAC foi considerada a área de ambos os lados dos cladódios, como relatado por (Nobel e Bobich, 2002).

A altura de plantas determinada pela medição aleatória de duas plantas por área útil, considerando o ápice do cladódio mais alto da planta em relação à base da planta no nível do solo. A largura de plantas foi determinada medindo a planta no sentido horizontal,

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

considerando os cladódios mais distantes nas extremidades da planta, em duas plantas aleatórias na área útil.

O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl, metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011). Para a análise dos minerais Na, K, Ca e Mg produziu-se um extrato nitroperclórico, em seguida o extrato foi armazenado para posterior análise, seguindo metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011).

O teor de K e Na foi determinado utilizando o fotômetro de chamas (Digimed DM 62) seguindo metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011), para a análise do K, os extratos vegetais foram diluídos com água destilada na seguinte proporção: 1 mL de extrato vegetal (amostra) e 10 mL de água destilada.

O teor de Ca e Mg foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica seguindo metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011). Para as análises de Ca e Mg há a necessidade da adição de cloreto de estrôncio a diluição dos extratos vegetais para evitar interferências provocadas pela presença de fosfato e aluminatos.

Os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F ao nível de 5% de significância, utilizando-se o procedimento Proc Mixed. Quando o efeito de fatores quantitativos (adubação orgânica e nitrogenada) foi significativo ($P < 0,05$), contrastes ortogonais polinomiais foram utilizados. As análises foram realizadas utilizando o programa SAS (SAS Inst. Inc., 2013).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de cladódios por planta variou significativamente ($P<0,05$) de forma linear positiva com os níveis de adubação orgânica residual e colheita bienal. O número de cladódios aumentou à medida que se elevou o efeito residual da adubação orgânica (Figura 2). Apesar do baixo número de cladódios por planta apresentados pela palma forrageira cv. Miúda no presente estudo devido à alta densidade de plantio, o número de cladódios elevou-se à medida que aumentou o efeito da adubação orgânica residual.

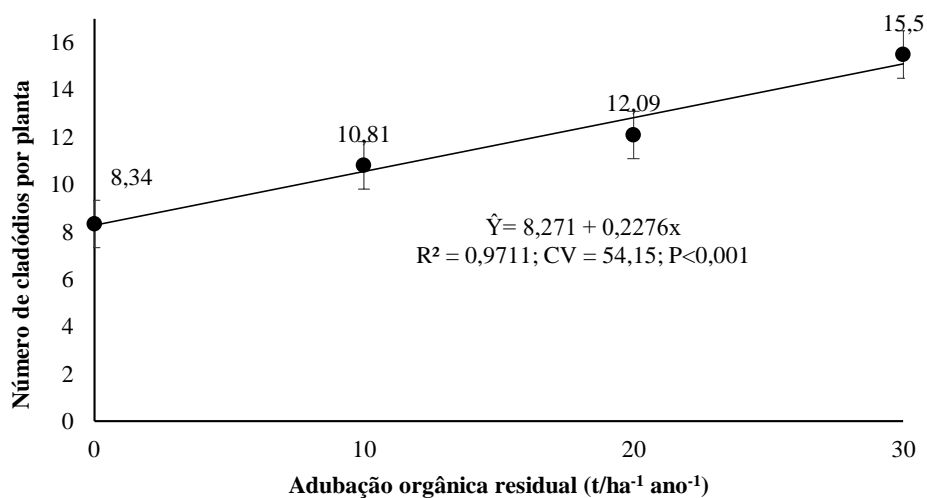


Figura 2. Número de cladódios por planta de palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.

Foram encontrados 8,34 e 15,5 cladódios por planta no menor e maior nível de adubação residual, respectivamente. Silva et al., (2014), com um ano de cultivo e adubação nitrogenada, relataram para a palma forrageira cv. Miúda em média 51 cladódios por

planta. O baixo número de cladódios encontrado no presente estudo pode ser justificado pela ausência de adubação e densidade de plantio elevada.

Além disso, a emissão de novos cladódios depende do clone, que apresenta diferentes perfis de emissão, tamanho, formato e distribuição dos cladódios, e essa diferenciação pode influenciar a capacidade fotossintetizante e o rendimento da palma forrageira (Silva et al., 2010).

O número de cladódios também variou significativamente ($P < 0,05$) com a colheita bienal com a frequência de colheita (Figura 3). Apesar da ausência de adubação e da elevada densidade de plantio, a palma forrageira conseguiu manter seu crescimento (Figura 3), apresentando grande número de cladódios no momento da colheita bienal.

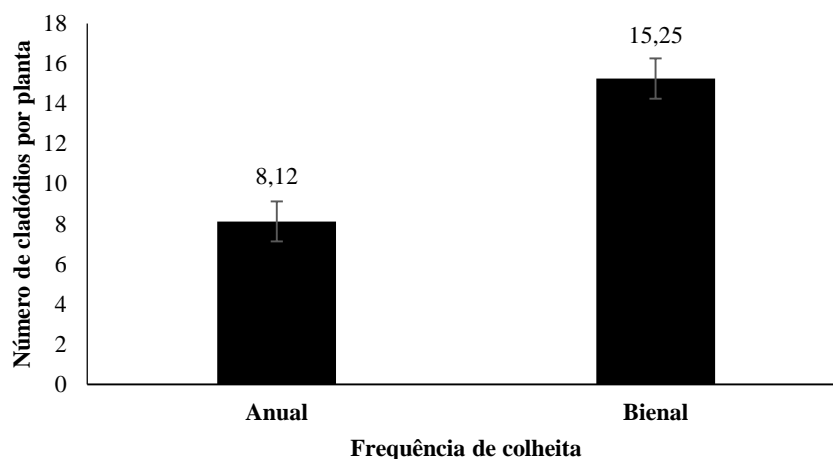


Figura 3. Número de cladódios por planta de palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.

Para expressar completamente seu potencial, a palma forrageira extrai grandes quantidades de nutrientes do solo (Dubeux Júnior e Santos, 2005). A ausência de adubação

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

e elevada densidade de plantio, provavelmente prejudicou o desenvolvimento da planta e conseqüentemente a emissão de novos cladódios. Apesar disso, segundo Scalisi et al., (2016), os cladódios da palma forrageira são altamente responsivos a reidratação após longos períodos de estiagem. O que ocorreu no presente experimento, onde nos meses anteriores a colheita bienal, houve precipitação acima da média.

A densidade de plantio foi de 83.336 (1,20 x 0,10 m) plantas ha⁻¹, considerada alta, justifica a menor emissão de cladódios das plantas de palma. Cavalcante et al., (2014) observaram que houve um menor número de cladódios na maior densidade de plantio, possivelmente devido a maior competição por espaço, luz e nutrientes. Os autores encontraram número de cladódios muito superior aos do presente estudo, em média 81 cladódios por planta da palma forrageira cv. Miúda aos dois anos de cultivo, com adubação.

A altura da planta foi significativamente ($P<0,05$) influenciada pelos níveis de adubação orgânica residual (Figura 4) e pela frequência de colheita (Figura 5). A altura variou de 39 a 52 cm entre a menor e maior adubação orgânica residual. A maior altura pode ser explicada pelo maior número de cladódios apresentado na adubação orgânica residual de 30 t de MO ha⁻¹ ano⁻¹, tendo em vista que o número de cladódios se correlaciona positivamente com a altura da planta (Silva, 2010).

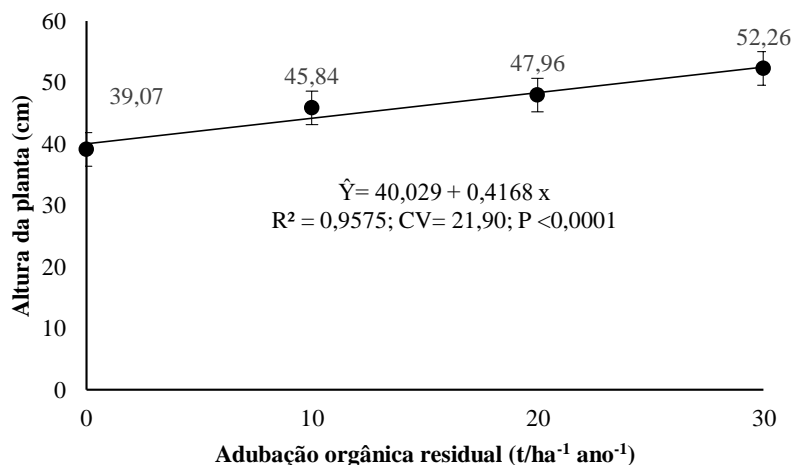


Figura 4. Altura da planta da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.

A palma forrageira apresentou maior altura de planta quando submetida a colheita bienal. As plantas continuaram crescendo após a colheita anual, o que possibilitou maior eficiência fotossintética e acúmulo de reservas, consequentemente maior altura do que as plantas colhidas bienalmente (Figura 5).

Silva et al., (2014) encontraram altura média de 83 cm para a palma forrageira cv. Miúda após um ano de plantio, superior ao encontrado no presente estudo.

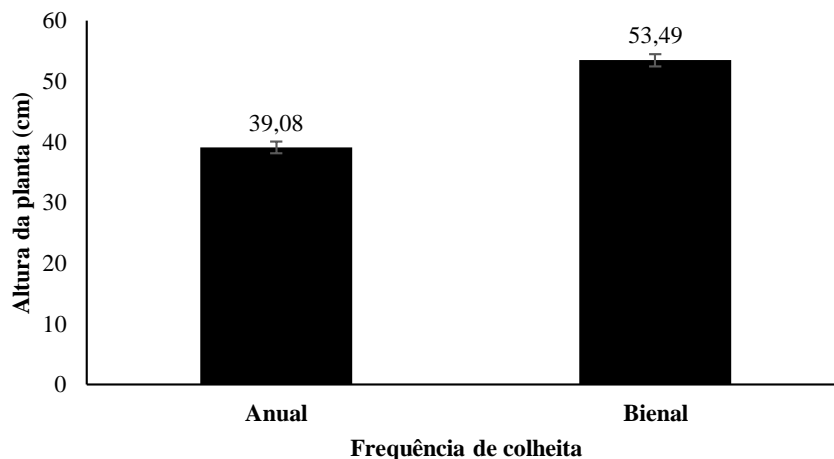


Figura 5. Altura da planta da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.

Cavalcante et al., (2014) e Silva et al., (2014) encontraram altura média da palma forrageira cv. Miúda de 110 e 83 cm aos dois anos de cultivo, respectivamente. Praticamente o dobro do encontrado no presente estudo, possivelmente devido as condições ambientais, onde houve a limitação de nutrientes e água.

Souza (2015), em estudo realizado na mesma área experimental, observou a altura média da palma forrageira cv. Miúda submetidas a colheita anual e bienal de 43 e 55 cm. Valores próximos aos encontrados no presente trabalho que foi de 39 e 53 cm, nas colheitas anual e bienal.

A largura da planta foi influenciada significativamente ($P < 0,05$) pelo efeito da adubação orgânica residual (Figura 6), variando entre 36 a 52 cm. A largura da planta é resultante de uma sequência de cladódios em diferentes estágios de crescimento, o que justifica a influência indireta da altura da planta. Segundo Silva et al., (2010), as plantas que apresentam maior altura possuem maior largura. O que pode ser observado no presente

estudo, onde no maior nível de adubação orgânica residual e colheita bienal, as plantas apresentaram maior altura e conseqüentemente maior largura.

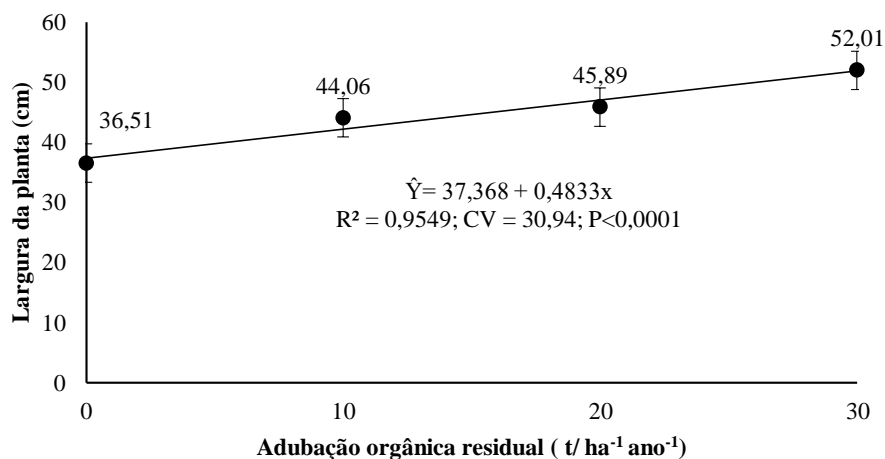


Figura 6. Largura da planta da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.

A largura das plantas também foi influenciada significativamente ($P < 0,05$) pela frequência de colheita (Figura 7), sendo observado na colheita bienal a maior largura de plantas. O que pode estar relacionado com o contínuo crescimento quando comparado às plantas colhidas anualmente. Essas plantas colhidas bienalmente apresentam maior área fotossintética e conseqüentemente maior acúmulo de reservas.

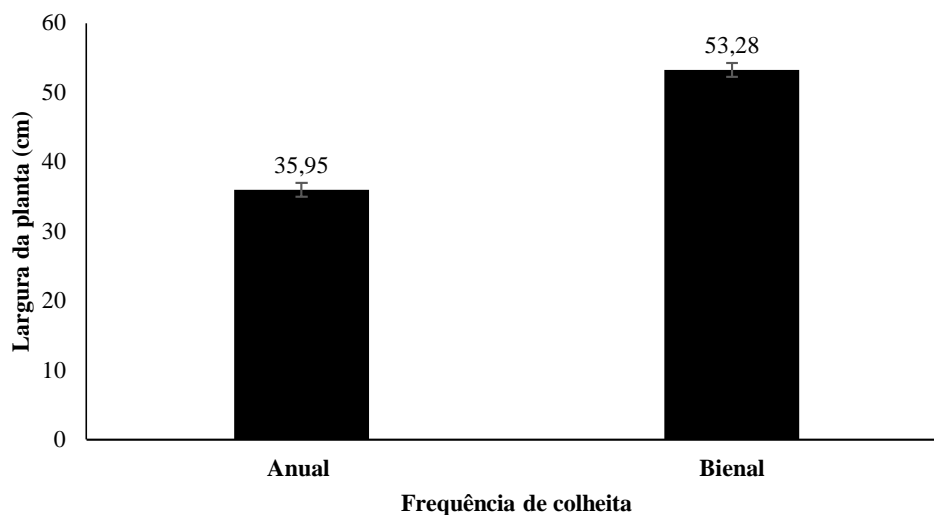


Figura 7. Largura da planta da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.

Silva et al., (2010), avaliando diversos clones de palma forrageira, encontraram a média da largura das plantas de 71 cm, valores próximos aos encontrados no presente estudo, com valores de aproximadamente 52 cm de largura.

O índice de área de cladódio foi significativamente ($P < 0,05$) influenciado pelo efeito residual da adubação orgânica (Figura 8). Para o efeito residual de 30 t MO ha⁻¹ ano⁻¹, foi encontrado maior IAC (3,36), que pode estar relacionado com a maior área fotossintética apresentada pelas plantas nesse nível de adubação orgânica residual, onde se encontram as plantas de maior altura, largura e maior número de cladódios.

A relação entre as características morfológicas como altura e largura da planta, e índice de área de cladódio e o rendimento da planta representa um dado de grande importância para a compreensão da resposta da palma forrageira as condições de cultivo (Pinheiro et al., 2014).

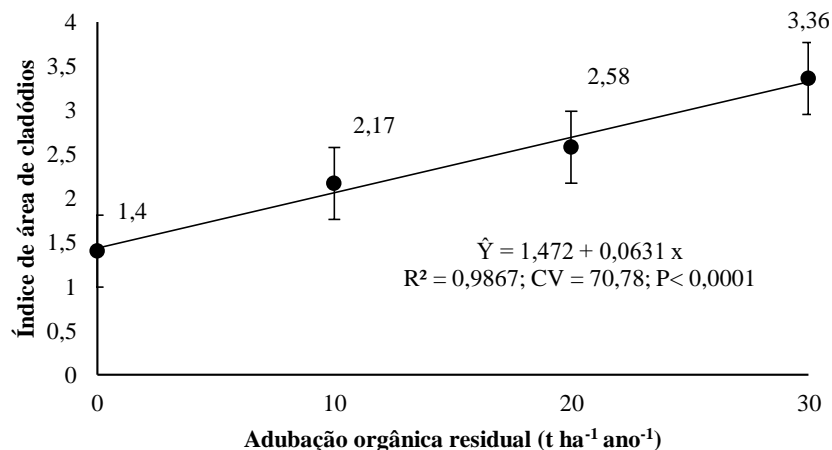


Figura 8. Índice de área de cladódio da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.

O índice de área de cladódios variou significativamente ($p < 0,05$) com a frequência de colheita (Figura 9), sendo encontrados valores de 1,55 e 3,21 para as colheitas anual e bienal, respectivamente. Nobel (1995) sugere que um índice de área de cladódio entre 4 e 5 pode aumentar a produtividade da palma, levando em consideração ambas as faces dos cladódios. Quanto maior a população de plantas, maior será o IAC, resultando em maior produtividade quando nenhum outro fator for limitante. No presente estudo, com ausência de adubação o IAC encontrado na colheita bienal foi de 3,21.

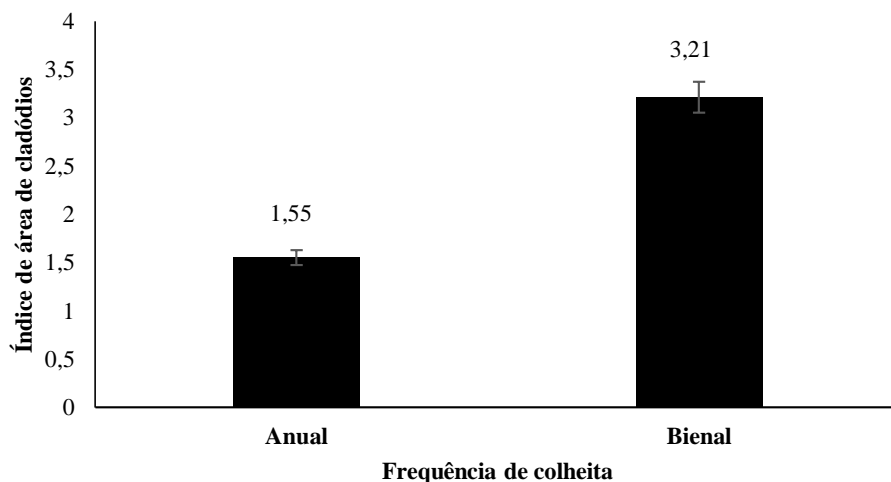


Figura 9. Índice de área de cladódios da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.

As plantas coletadas anualmente utilizam suas reservas e a energia oriunda da fotossíntese dos cladódios remanescentes para recuperar a superfície fotossintética perdida na colheita. As plantas coletadas bienalmente, permanecem crescendo, possibilitando maior eficiência na captação de luz e acúmulo de reservas, o que possibilita uma maior produtividade e longevidade do palmal.

Para produtividade houve efeito linear positivo ($P < 0,05$) da palma forrageira em relação a adubação orgânica residual (Figura 10). Além da baixa precipitação outros fatores como luz e temperatura, influenciam na decomposição do esterco, proporcionando maior armazenamento de nutrientes no solo e, por sua vez, maior efeito residual nos anos subsequentes a adubação.

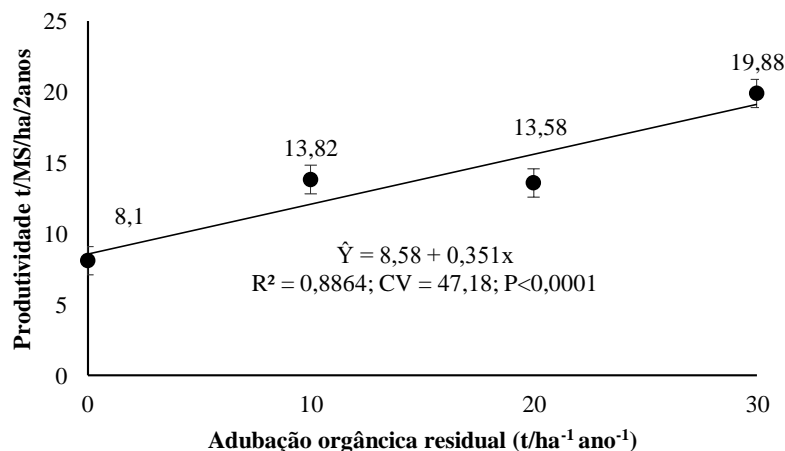


Figura 10. Produtividade da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.

Para externar seu potencial a palma forrageira necessita de práticas de manejo adequadas, destacando-se a fertilização. Devido à baixa precipitação, altas temperaturas e ausência de adubação durante o período experimental, podemos justificar a menor produtividade apresentada no presente trabalho.

Silva et al., (2014) encontraram para a palma forrageira cv. Miúda, produtividade média de aproximadamente 45 t de MS por ha⁻¹ ano⁻¹, com um ano de cultivo, mantendo-se apenas o cladódio primário, com adubação nitrogenada, na densidade de 80.000 plantas ha⁻¹, no município de Frei Paulo – SE.

Valores encontrados para a palma forrageira cv. Miúda, por Souza et al., (2017), apontam a maior produtividade (20,4 t de MS por ha⁻¹ 2 ano⁻¹) encontrada na densidade de 40.000 plantas ha⁻¹ no município de Caruaru, com adubação de N e P. Valores encontrados no presente estudo, mostram na maior adubação orgânica residual a produtividade de 19,88 t MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹, na densidade de 83.336 plantas ha⁻¹. Considerando que o aumento da

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

densidade, a fertilização e a pluviosidade influenciam diretamente na produtividade da palma forrageira, podemos observar que no presente estudo a produtividade foi baixa.

Segundo Silva et al., (2014), a produtividade da palma forrageira cv. Miúda está relacionada com o número de cladódios, o que corrobora com o presente estudo. Na adubação orgânica residual de 30 t de MS por ha⁻¹ ano⁻¹ a palma Miúda apresentou maior número de cladódios, em média 15 cladódios por planta.

Em anos anteriores e com o uso de adubação orgânica e mineral, na mesma área experimental, Souza (2015) observou produtividade de 9,6 e 41,2 t MS ha⁻¹ 2 anos⁻¹, nos tratamentos controle e 30 t MO ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Foram observadas reduções de aproximadamente 15 e 51% da produtividade para os tratamentos controle e 30 t de matéria orgânica por hectare ano, respectivamente.

Para a eficiência de uso da chuva houve efeito linear positivo ($P < 0,05$) da palma forrageira em relação a adubação orgânica residual (Figura 11). Entre o tratamento controle e a maior adubação residual houve um aumento de 63%, em relação a eficiência de uso da chuva, que apresentou 23,41 kg MS ha⁻¹ por mm⁻¹ de chuva.

Valores relevantes quando comparados ao estudo de Ferraz (2018), que para clones de palma forrageira no Agreste e Sertão pernambucano encontraram valores de 15,30 kg MS ha⁻¹ por mm⁻¹ da água na segunda colheita, levando em consideração o somatório da evapotranspiração. O que indica que a palma Miúda apresenta características favoráveis ao seu desenvolvimento em locais com errática distribuição de chuvas.

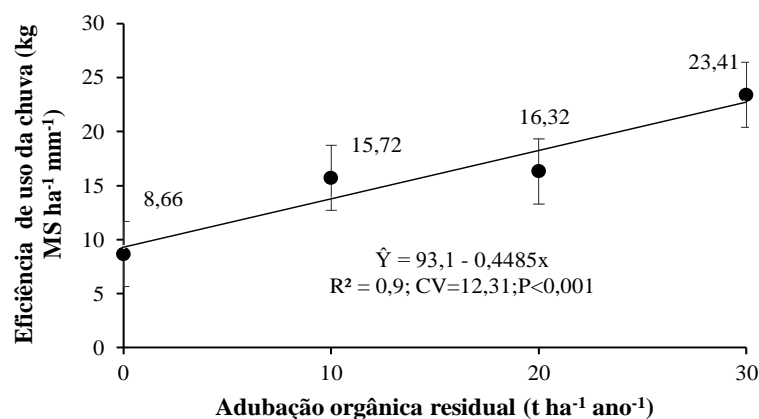


Figura 11. Eficiência do uso da chuva da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.

O teor de matéria seca foi significativamente ($P<0,05$) influenciado pela adubação orgânica residual (Figura 12). Quando há disponibilidade de chuva, é possível observar que os cladódios se tornam mais suculentos.

Nos meses anteriores à colheita bienal, houve um período excepcional de chuva (Figura 1), o que pode ter influenciado o baixo teor de matéria seca da palma, tendo em vista que os cladódios se apresentavam mais turgidos e suculentos.

A palma forrageira cv. Miúda apresentou teor de matéria seca de aproximadamente 76 e 63 g kg⁻¹ na testemunha e na maior adubação orgânica residual, respectivamente. O teor de matéria seca caiu à medida que a adubação orgânica residual aumentou. No maior nível de adubação orgânica residual a palma forrageira cv. Miúda apresentou maior número de cladódios de 3º e 4º ordem, que são cladódios mais jovens com maiores teores de umidade e com menor teor de fibra, quando comparados à aos de primeira e segunda

ordem. Assim, pode-se justificar o menor teor de matéria seca no maior nível de adubação orgânica residual.

Cavalcante et al., (2014) encontraram valores médios de matéria seca de 77,6 g kg⁻¹ para a palma forrageira cv. Miúda, próximos aos encontrados no presente estudo. Os mesmos autores ainda afirmam que, apesar do baixo teor de matéria seca encontrado, nos períodos de estiagem e escassez de água, a palma pode servir como rica reserva de nutrientes para os animais, tendo em vista que a palma forrageira cv. Miúda apresentou maior produtividade de matéria e, conseqüentemente, maior acúmulo de nutrientes digestíveis totais, proteína bruta e maior digestibilidade *in vitro* da matéria seca, em comparação a outras espécies forrageiras disponíveis na região.

Cordova-Torres et al., (2017), estudando os efeitos da restrição total de água na dieta de ovinos alimentados com palma forrageira, observaram que a palma forrageira é uma excelente fonte de água, podendo ser utilizada eficientemente como suplemento alimentar e fonte única de água na dieta.

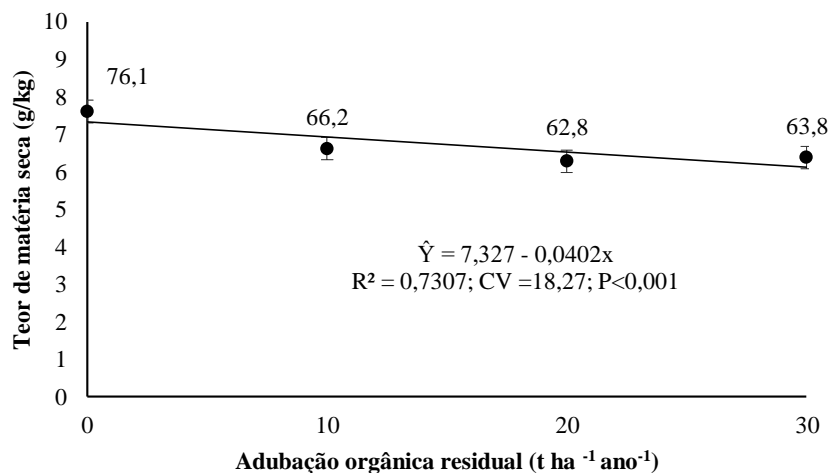


Figura 12. Teor de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica. As barras indicam erro padrão.

Além disso, o teor de matéria seca foi significativamente ($P < 0,05$) influenciado pela frequência da colheita (Figura 13), apresentando maior teor de matéria seca na colheita bienal. Essas plantas apresentavam maior quantidade de órgãos estruturais, para suportar maior produção.

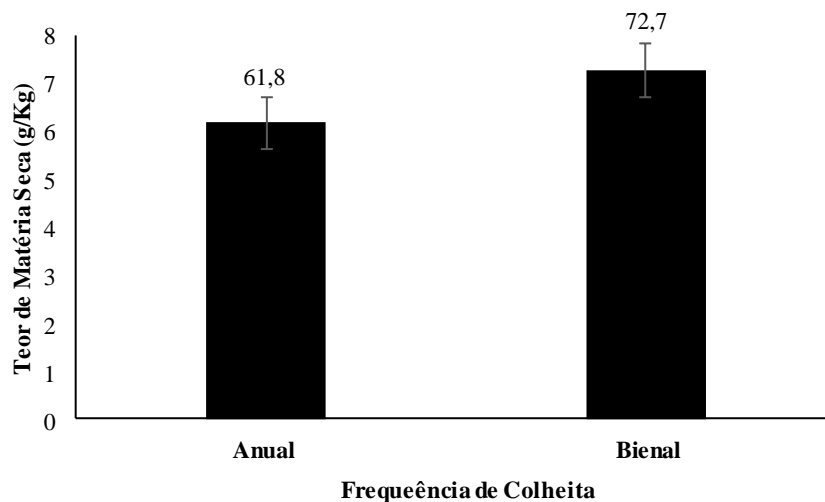


Figura 13. Teor de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita. As barras indicam erro padrão.

Dubeux et al., (2010) ressaltam que de maneira geral a palma forrageira apresenta baixo teor de matéria seca, o que pode comprometer, quando fornecida em grandes quantidades, o atendimento das necessidades de matéria seca dos animais. Para o clone IPA-20, os autores encontraram valores médios de 60, 87 g kg⁻¹, próximo aos encontrados no presente estudo, o que pode estar associado a idade da planta e principalmente a pluviosidade ao final do período experimental, que contribuiriam para a maior umidade dos cladódios.

Segundo Santos et al., (2000), o teor de matéria seca da palma forrageira é baixo, variando de 70,1 a 119,4 g kg⁻¹. Esse alto teor de umidade é uma característica positiva, pois no semiárido existe limitação de água para os animais, notadamente no período seco do ano.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

O teor de nitrogênio não foi influenciado ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores testados. O teor médio de nitrogênio foi de $27,2 \text{ g kg}^{-1}$, relativamente baixo, quando comparado aos estudos realizados na região com palma forrageira cv. Miúda, que é em média 33 g kg^{-1} , (Batista et al., 2009).

Torres et al., (2009), estudando a palma forrageira cv. Miúda, encontraram $54,8 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio, aos dois anos de cultivo no semiárido brasileiro. Cavalcante et al., (2014) encontraram valores médios de nitrogênio de $49,8 \text{ g kg}^{-1}$.

Diferenças nesses valores podem estar associadas ao manejo adotado, com apenas adubação residual, densidade de plantas, além das variações ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura, períodos prolongados de seca, alta incidência de raios ultravioleta típicos da região.

Santos et al., (2001) relataram que valores mais elevados de proteína bruta, devem estar associados ao manejo, com adubação, intensidade de corte e densidade de plantio mais adequados ao manejo da cultura.

Segundo Silva et al., (2014), os teores de nutrientes são determinados a partir da matéria seca, portanto, uma vez que tal genótipo apresenta maior teor de matéria seca, conseqüentemente, detém os maiores teores de nutrientes.

O teor de potássio foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) pela interação entre a adubação mineral residual e frequência de colheita bienal, não houve efeito ($P < 0,05$) da adubação em parcelas da colheita anual (Figura 14). A palma forrageira apresenta elevada extração de potássio, para uma produtividade de $20 \text{ t de matéria seca ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a palma extrai, em média, 516 kg K ha^{-1} (Dubeux e Santos, 2005).

A medida que aumentou os níveis de adubação mineral residual na frequência de colheita bienal, o teor de potássio diminuiu, apresentando teores de $24,7$ a $15,5 \text{ g kg}^{-1}$ no

menor e maior nível de adubação mineral residual. Possivelmente, devido ao efeito de diluição, considerando que a palma apresentou maior crescimento nos maiores níveis de adubação residual. Os teores de potássio na palma forrageira encontrados na literatura variam entre 19,4 e 65,8 g K kg MS⁻¹, indicando que o K está limitando o desenvolvimento da planta no presente estudo. Os baixos teores de K encontrados no presente trabalho podem estar associados ao baixo índice pluviométrico e ausência de adubação durante o período avaliado.

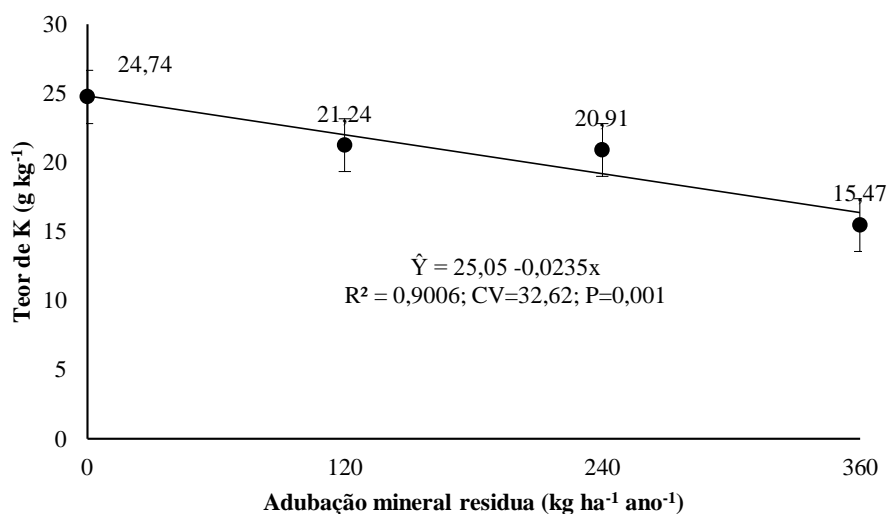


Figura 14. Teor de potássio da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme frequência de colheita bienal e adubação mineral residual. As barras indicam erro padrão.

Nas plantas coletadas bienalmente, o teor de potássio da palma forrageira foi inferior ao observado nas plantas colhidas anualmente. Isto pode ser justificado pelo menor grau de desenvolvimento e teor de matéria seca das plantas com colheita anual (efeito concentração).

Dubeux et al., (2010), trabalhando com quatro níveis de adubação potássica (0;200; 400 e 800 kg ha⁻¹ de K₂O), observaram teores médios de potássio de aproximadamente 33,4 g kg⁻¹, com variações aproximadas entre 19 e 59 g kg⁻¹ o menor e maior valor, respectivamente. Valores médios superiores aos encontrados no presente trabalho, onde obteve-se média de 20,58 g kg⁻¹, possivelmente devido extração desse nutriente do solo sem que houvesse reposição e pouca chuva durante o período experimental.

Souza (2015) observou teores de potássio em cladódios da palma forrageira cv. Miúda variando entre 19,4 e 65,8 g kg⁻¹, com adubação de 10, 20 e 30 t de MO ha⁻¹ ano⁻¹. Esses valores são superiores aos encontrados no presente trabalho, provavelmente devido ao efeito residual da adubação orgânica e mineral, bem como da baixa precipitação durante o período experimental no presente estudo.

O teor de cálcio não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores testados. O valor médio apresentado foi de 1,02 g kg⁻¹. Teor abaixo de 4 g Ca kg⁻¹ é considerado deficiente na planta. A palma extrai cerca de 470 kg Ca ha⁻¹ anualmente, logo se não houver reposição via adubação a produtividade irá declinar devido a fertilidade do solo (Dubeux e Santos, 2005).

Silva et al., (2012) encontraram valores aos dois anos de cultivo de 28 e 30 g kg⁻¹ de cálcio, correspondente aos tratamentos sem adubação e com adubação, respectivamente. Valores muito acima dos encontrados no presente trabalho.

Os teores encontrados no presente trabalho podem ser justificados pela ausência de adubação nos dois anos anteriores a colheita. Segundo Silva et al., (2012), o cálcio é responsável pelo enrijecimento das paredes celulares, e sua deficiência pode causar tombamento de plantas, o que pôde ser observado no presente experimento em algumas plantas.

O teor de magnésio não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores testados. O valor médio encontrado foi de $0,16 \text{ g kg}^{-1}$. Santos et al., (2005), encontraram valores médios de $10,4 \text{ g kg}^{-1}$. Em palma forrageira cv. Miúda nas condições apresentadas no presente experimento, a palma apresentou baixos teores de magnésio, provavelmente devido à ausência de adubação de reposição na área experimental.

Silva et al., (2012) e Dubeux et al., (2010) encontraram valores médios de $12,5 \text{ g kg}^{-1}$ e $7,4 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Valores superiores aos encontrados no presente estudo, possivelmente devido aos tratos culturais realizados em cada experimento.

O teor de sódio não foi influenciado significativamente ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores testados. O valor médio encontrado foi de $0,00204 \text{ g kg}^{-1}$. Os teores de Na encontrado no presente trabalho são relativamente insignificantes, quando comparados aos encontrados por Silva et al., (2012), que relataram valores de $0,05096 \text{ g kg}^{-1}$ na colheita realizada com um ano e meio no tratamento sem adubação. O Na não é considerado um elemento essencial as plantas, porém, para as plantas que apresentam via CAM de fixação de carbono, como a palma forrageira, é essencial para a regeneração do fosfoenolpiruvato, o substrato da primeira carboxilação nessa via (Epstein e Bloom, 2006). Segundo esses mesmos autores, a deficiência de Na induz nessas plantas a clorose e necrose, além de falha na formação de flores.

5. CONCLUSÕES

Resíduos de adubação orgânica (0, 10, 20, e 30 t de MO ha⁻¹) e adubação mineral (0,120, 240 e 360 Kg de N ha⁻¹) e a frequência de colheita (anual e bienal) não afetaram a composição dos teores de nitrogênio, magnésio e cálcio da palma forrageira cv. Miúda.

À medida que o nível de adubação orgânica residual é maior, na frequência de colheita bienal, a palma forrageira cv. Miúda apresenta maior altura e largura da planta, maior número de cladódios, maior índice de área de cladódio, maior produtividade e maior eficiência de uso da chuva.

6.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, A.M.V.; Ribeiro Neto, A.C.; Lucena, R.B.; Santos, D.C.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Mustafa, A.F. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology e Management* 62, 297-301.
- Bezerra Neto, E., Barreto, L.P. 2011. Análises Químicas e Bioquímicas em plantas. Editora Universitária da UFRPE. p.267.
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Silva, M. A. 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 4, p. 424-433.
- Cordova Torres, A.V.; Costa, R. G.; Medeiros, A. N.; Araújo Filho, J. T.; Ramos, A. O.; Alves, N.L. 2017. Performance of sheep fed forage cactus with total water restriction. *Rev. bras. saúde prod. animal*, v.18, no.2, p.369-377.
- Dubeux Júnior, J.C.B.; Santos, M.V.F., 2005. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: Menezes, R. S. C; Simões, D. A.; Sampaio, E V. S. B. (Eds.). *A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, p.105-128.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Araújo Filho, J.T.; Lira, M.A.; Santos, D.C.; Pessoa, R.A.S. 2010. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 1, p. 129-135.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. 2006. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta. p 403.
- Ferraz, A.P.F. 2018. Avaliação de clones de palma forrageira no agreste e sertão pernambucano. 115 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Firincioglu, H. K.; Unal, S.; Erbehtas, E. 2010. Relationships between seed yield and yield components in common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa*) populations sown in spring and autumn in central Turkey. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 30-37.
- Inglese, P.; Liguori, G.; Barrera, E. 2017. 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, 29-39.
- Nobel, P. S; Barbera, G.; Inglese, P.; Pimienta-Barrrios, E. 1995. *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO, p.36-48.

- MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...
- Nobel, P.S.; Bobich, E.G. 2002. Environmental Biology. Cacti: Biology and Uses, University of California Press, p.57-74.
- Pinheiro, K.M.; Silva, T.G.F.; Carvalho, H.F.S.; Santos, J. E.O.; Morais, J. E. F.; Zolnier, S.; Santos, D.C. 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.49, n.12, p.939-947.
- Santos, G. R. A. 2000. Composição química e degradabilidade da matéria seca de dez clones de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 37. SBZ.
- Santos, M.V.F.; Ferreira, M. A.; Batista, A.M.V. 2005. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso. UFPE. v.1, p.143-162.
- SAS Institute. 2013. The SAS system for Windows. Release 9.4. SAS Inst., Cary, NC.
- Santos, D.C.; Santos, M.V.F.; Farias, I. 2001. Desempenho Produtivo de Vacas 5/8 Holando/Zebu Alimentadas com Diferentes Cultivares de Palma Forrageira (*Opuntia e Nopalea*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, p.12-17.
- Scalisi, A.; Morandi, B.; Inglese, P.; Lo Bianco, R. 2016. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. Environmental and Experimental Botany, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 158-167.
- Silva, N.G.M.; Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Dubeux, J.C.B.; Mello, A.C.L.; Silva, M. C. 2010. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. Revista Brasileira de Zootecnia. v.39, n.11, p.2389-2397.
- Silva, L.M., Fagundes, J.L., Viegas, P.A.A., Muniz, E.E., Rangel, J.H.A., Moreira, A.L., Backes, A.A. 2014. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. Ciência Rural, v.44, n.11, p.2064-2071.
- Silva, J. A. da. 2012. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 7, supl., p. 866-875.
- Silva, M. C.; Yodoyaga, D. F.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Santos, M.V.F.; Melo, J. N.; Santos, D.C.; Ferreira, R.L. C. 2001. Influência da adubação e do espaçamento sobre a composição química da palma forrageira cv. clone ipa-20. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 38. Anais, Piracicaba: SBZ, p.233-234.
- Souza, T.C. 2015. Sistemas de cultivo para a palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). 120 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

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. 2017. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. Rev. Bras. Cienc. Agrar., Recife, v.12, n.4, p.555-560.

Torres, L. C. L.; Ferreira, M.A.; Guim, A.; Vilela, M.S.; Guimarães, A.V.; Silva, E.C.; 2009. Substituição da palma-gigante por palma-Miúda em dietas para bovinos em crescimento e avaliação de indicadores internos. Revista Brasileira de Zootecnia, Brasília, DF, v. 38, n. 11, p. 2264-2269.

CAPITULO IV

Composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) em clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)

Composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) em clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)

1. RESUMO

Objetivou-se avaliar a composição isotópica de clones de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, e da palma forrageira cv. Miúda. Um ensaio preliminar com diferentes clones de palma forrageira e um experimento com palma forrageira cv. Miúda submetida a diferentes sistemas de cultivo, foram conduzidos simultaneamente na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) em Caruaru-PE. Para o ensaio preliminar, foi utilizado delineamento em blocos ao acaso com três repetições, contendo sete plantas por parcela, sendo 5 plantas na área útil e uma fileira por parcela, exceto na cultivar Miúda que apresentou três fileiras. Os tratamentos foram 20 clones de palma forrageira e as amostras coletadas em junho de 2014 e setembro de 2016. Para o experimento, o delineamento utilizado foi o casualizados em blocos, com arranjo de parcelas subdivididas e quatro repetições, as amostras foram coletadas em agosto de 2015. Os fatores testados foram os níveis de adubação orgânica residual (0, 10, 20, e 30 t de MO ha⁻¹), níveis de adubação mineral residual (0,120, 240 e 360 Kg de N ha⁻¹) em duas frequências de colheita (anual e bienal). No ensaio preliminar, os clones estudados apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -14,43 e -13,22‰, típicos da fixação via PEP-carboxilase. Para a composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰), não houve diferença significativa entre os períodos avaliados, havendo diferença significativa apenas entre os clones. A composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ não foi influenciada por nenhum dos fatores testados para a palma forrageira cv. Miúda. A média dos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ da palma forrageira cv. Miúda indicam ser essa uma planta CAM obrigatória. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam ausência ou níveis mínimos de fixação biológica de N₂ atmosférico na palma Miúda.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Palavras-chave: cactácea, isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, metabolismo ácido das crassuláceas (CAM).

Isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in cactus pear clones (*Opuntia* and *Nopalea*)

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the isotopic composition of clones of cactus pear of the genus *Opuntia* and *Nopalea*, and cactus pear cv. Miúda. A preliminary test with different clones of cactus pear and an experiment with cactus pear cv. Miúda. The study was carried out simultaneously at the Experimental Station of the Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) in Caruaru-PE. For the preliminary test, a randomized complete block design was used with three replications, containing seven plants per plot, with 5 plants in the useful area and one row per plot, except for the Miúda cultivar, which presented three rows. The treatments were 20 clones of cactus pear and the samples collected in June 2014 and September 2016. For the experiment, the design was the randomized blocks, with arrangement of subdivided plots and four replications, the samples were collected in August (0, 10, 20, and 30 t of MO ha⁻¹), levels of residual mineral fertilization (0, 120, 240 and 360 kg of N ha⁻¹) at two frequencies (annual and biennial). In the preliminary assay, the clones studied presented values of $\delta^{13}\text{C}$ between -14,43 and -13,22 ‰, typical of PEP-carboxylase fixation. For the isotopic composition of $\delta^{15}\text{N}$ (‰), there was no significant difference between the evaluated periods, with a significant difference only between the clones. The isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}$ was not influenced by any of the factors tested for the cactus pear cv. Miúda. The average of the $\delta^{13}\text{C}$ isotopic values of the cactus pear cv. Miúda indicate that this is a mandatory CAM plant. The values of $\delta^{15}\text{N}$ indicate absence or minimum levels of biological fixation of atmospheric N₂ in the cactus pear cv. Miúda.

Keywords: cactus, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopes, acid metabolism of crassulaceae (CAM).

2. INTRODUÇÃO

Plantas dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* são comumente utilizadas no Nordeste do Brasil principalmente na alimentação animal. Essas plantas apresentam metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), abrindo seus estômatos durante a noite, quando a temperatura e a evapotranspiração diminuem, favorecendo o aumento da umidade relativa do ar. O CO₂ é fixado pela PEP-carboxilase durante a noite e é acumulado em forma de malato. Durante o dia, os estômatos permanecem fechados e o carbono acumulado é utilizado na fotossíntese (Salisbury et al., 2017). A descarboxilação do malato acumulado no vacúolo durante a noite permite que o CO₂ liberado durante o dia seja incorporado ao ciclo de Calvin-Benson (Rubisco).

O resultado é um aumento na eficiência do uso da água e na capacidade da planta de se desenvolver em ambientes semiáridos, caracterizados por um abastecimento de água restrito, ou quando ocorrem longos períodos de seca e temperaturas relativamente altas, segundo (Inglese et al., 2017).

Os mecanismos de adaptação a aridez não são necessariamente válidos em relação a altas temperaturas. Embora ocorram a noite, a absorção de CO₂ e a acumulação de ácido são fortemente influenciadas por variáveis ambientais, como temperatura do ar, luz, estado da água na planta e nutrientes, (Nobel, 2006).

As plantas CAM obrigatórias fixam CO₂ a noite enquanto as CAM facultativas podem fixar durante o dia como as plantas C₃, sob condições favoráveis ou de stress hídrico do ambiente. Nestes casos, os valores isotópicos das plantas CAM obrigatórias são comparáveis as plantas C₄, - 13‰, enquanto as plantas CAM facultativas variam de -10‰ a - 28‰, dependendo das condições ambientais (Crayn et al., 2004).

As análises isotópicas são consideradas de grande importância no conhecimento da via metabólica realizada pela planta. Além disso, a abundância natural isotópica pode ser usada para traçar padrões e verificar mecanismos fisiológicos em organismos; traçar fluxos energéticos em cadeias alimentares e no estabelecimento das vias de ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres (Lajtha e Michener, 2007).

Os aspectos abordados demonstram a importância do conhecimento de tecnologias, que determinem a composição isotópica de carbono $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ de clones da palma forrageira dos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*, como uma ferramenta para definir os padrões de assimilação do Carbono $\delta^{13}\text{C}$ e Nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$, nas condições apresentadas. Considerando que a palma pode apresentar vias metabólicas específicas dependendo das variações ambientais da região. Assim, objetivou-se quantificar a composição isotópica do Carbono e Nitrogênio em clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas duas áreas experimentais, sendo uma representada por um ensaio preliminar de clones de palma e outra por um experimento de palma Miúda sob diferentes sistemas de cultivo. As áreas experimentais foram estabelecidas na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) no município de Caruaru, localizado na Região Agreste de Pernambuco, Nordeste do Brasil. As coordenadas geográficas do local experimental são 8°14' S e 35°55' W e elevação de 575 m acima do nível do mar. A precipitação média anual é de 679,2 mm, considerando dados coletados da estação experimental nos últimos 30 anos. O solo da estação experimental de Caruaru é classificado como NEOSSOLO REGOLÍTICO.

A precipitação pluvial acumulada no ano de 2014 foi de 550,8 mm, e em 2016 a precipitação foi de 377,4 mm, distribuídos mensalmente de acordo com a Figura 1.

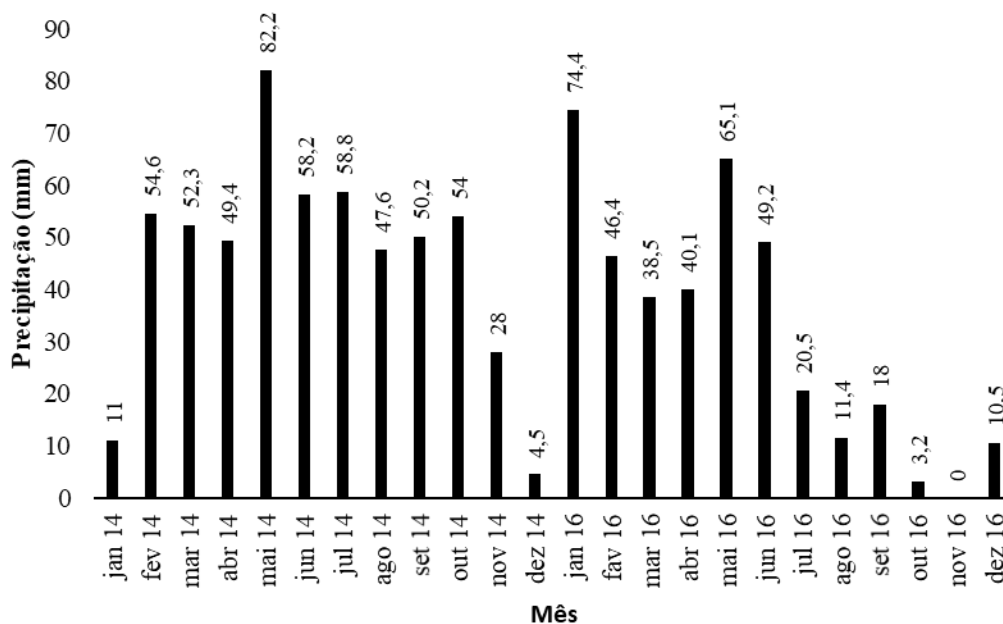


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) em Caruaru, Agreste de Pernambuco, no ano de 2014 e 2016. Fonte: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA.

Para o ensaio preliminar, o plantio da palma foi realizado em janeiro de 1998, utilizando-se um cladódio maduro por cova. Os tratamentos foram 20 clones de palma forrageira, sendo eles: Gigante, Miúda, Redonda, IPA – CLONE 20, IPA – 90 – 18, IPA – 90 – 18, IPA – 90 –73, IPA – 90 –75, IPA – 90 –92, IPA – 90 –106, IPA – 90 –111, IPA – 90 –115, IPA – 90 –156, 1258 – Additional C.V., 1267 – Algeria Fodder (Orelha de Elefante Africana), 1278 – México Fodder, 1294 – México Vegetable, 1311 – Marmillon Fodder, 1317 – Chile Fruit, 1327 – Marmillon Fodder e Algerian. Foi utilizado um delineamento de blocos ao acaso com três blocos, contendo sete plantas por parcela, sendo 5 plantas na área útil e uma fileira por parcela, exceto na cultivar Miúda que apresentou três fileiras. O espaçamento utilizado foi de 1,0 x 0,5 m, com área total de 3,5 m² e área útil de 2,5 m². Para atender as necessidades da cultura foi realizado no momento do plantio adubação orgânica com 30 t de estrume de curral (bovino 50%, caprino 50%) ha⁻¹ no momento do plantio.

A análise da composição isotópica do carbono $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ foram coletados três cladódios secundários de duas plantas da área útil de cada tratamento em junho de 2014 e em setembro de 2016. Os cladódios foram picados, pesados e secos em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até o peso constante. Após a secagem, as plantas foram pesadas, moídas no moinho tipo Willey em peneira de 0,5 mm e posteriormente finamente processadas em moinho de bola. As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia descrita por Trivelin et al., (1973), as quais foram realizadas no laboratório da University of Florida.

Para a instalação do experimento, o plantio foi realizado entre abril e maio de 2011, utilizando-se cladódios maduros de palma Miúda, originados da mesma estação

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

experimental, plantados no sentido vertical em espaçamento de 1,2 x 0,10 m, o que equivale a uma densidade com 83.333 plantas ha⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais (14,4 x 8,0 m) foram utilizadas para testar os níveis de matéria orgânica residual; as subparcelas (7,2 x 8,0 m) para avaliar as frequências de colheita e a sub-subparcela (14,4 x 2,0 m) para avaliar os níveis de nitrogênio residual. Cada unidade experimental foi formada por seis fileiras de plantas, sendo as duas fileiras laterais e três plantas de cada extremidade consideradas bordaduras.

Foram coletadas amostras de cladódios de segunda ordem em agosto de 2015 para a análise da composição isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), conforme metodologia de Trivelin et al., (1973), as quais foram realizadas no laboratório da University of Florida.

Para análise estatística realizou-se análise de variância, com aplicação do teste F, utilizando o procedimento Proc Mixed. Quando o efeito do fator quantitativo (época do ano) foi significativo ($P < 0,05$), contrastes ortogonais polinomiais foram utilizados. As análises foram realizadas utilizando o programa SAS (SAS Inst. Inc., 2013).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio preliminar, para o teor de nitrogênio total, observou-se que o clone 1267-Algeria Fodder apresentou 1,1% de N e diferiu significativamente ($P < 0,05$) dos clones IPA-90-111, 1317-CHILE FRUIT e IPA-90-75 no ano de 2014, que apresentaram teor de N de 0,7 % (Tabela 1). No ano de 2016 o percentual de nitrogênio total foi maior no clone 1258-Additional C.V. que apresentou 1,4% de N e diferiu dos clones 1327- Marmillon Fodder,

Algerian, IPA-90-106, IPA-90-156, IPA-90-18, IPA-90-73, IPA-90-75, IPA-90-92, IPA-CLONE-20, Miúda e Redonda. Quanto ao teor de C e N na palma forrageira cv. Miúda, não houve diferença estatística entre os anos de 2014 e 2016.

Tabela 1. Teor total de Nitrogênio em clones de palma forrageira no Agreste pernambucano nos anos de 2014 e 2016.

Tratamentos	%N	%N
	2014	2016
1258-ADDITIONAL C.V.	0,9 bAB	1,4 aA
1267-ALGERIA FODDER (Orelha de Elefante Africana)	1,1 aA	1,1 aABC
1278-MÉXICO FODDER	1,0 bAB	1,2 aAB
1294-MÉXICO VEGETABLE	0,7 bAB	1,2 aAB
1311-MARMILLON FODDER	0,8 bAB	1,2 aABC
1317-CHILE FRUIT	0,7 bB	1,3 aAB
1327-MARMILLON FODDER	0,8 aAB	0,9 aBC
ALGERIAN	0,7 aAB	0,8 aBC
GIGANTE	0,7 bAB	1,0 aABC
IPA-90-106	1,0 aAB	1,0 aBC
IPA-90-111	0,7 bB	1,0 aABC
IPA-90-115	0,7 bAB	1,1 aABC
IPA-90-156	0,8 aAB	0,9 aBC
IPA-90-18	1,1 aAB	1,0 aBC
IPA-90-73	0,7 aAB	0,9 aBC
IPA-90-75	0,7 aB	0,9 aBC
IPA-90-92	0,8 aAB	0,8 aC
IPA-CLONE-20	0,8 aAB	1,0 aBC
MIÚDA	0,7 aAB	1,0 aBC
REDONDA	1,0aAB	1,0a BC

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem pelo Teste F e letras maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Student Newman Keuls a 5% de probabilidade.

Verificou-se que o teor de C foi maior no clone Gigante no ano de 2014 (Tabela 2), diferindo estatisticamente dos clones 1317 – Chile Fuit, Algerian, IPA-90-156, IPA-90-18,

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

IPA-90-73, IPA-90-92, IPA-CLONE-20 e Redonda. No ano de 2016, o carbono total foi maior no clone IPA-90-106, que diferiu estatisticamente dos clones 1267 – Algeria Fodder, IPA-90-18 e Redonda.

Tabela 2. Teor total de Carbono em clones de palma forrageira no Agreste pernambucano nos anos de 2014 e 2016, no ensaio preliminar.

Tratamentos	%C	%C
	2014	2016
1258-ADDITIONAL C.V.	39,9 aAB	39,2 aABC
1267-ALGERIA FODDER (Orelha de Elefante Africana)	39,4 aABCD	37,4 bD
1278-MÉXICO FODDER	39,3 aABCD	39,0 aABC
1294-MÉXICO VEGETABLE	39,5 aABCD	39,3 aABC
1311-MARMILLON FODDER	39,2 aABCD	38,6 aABCD
1317-CHILE FRUIT	38,9 aBCDEF	39,4 aABC
1327-MARMILLON FODDER	39,6 aABC	39,2 aABC
ALGERIAN	38,9 aBCDEF	39,5 aAB
GIGANTE	40,7 aA	39,1 aABC
IPA-90-106	39,6 aABCD	39,7 aA
IPA-90-111	39,2 aABCDE	39,4 aABC
IPA-90-115	39,2 aABCDE	38,8 aABCD
IPA-90-156	37,6 aFG	38,0 aABCD
IPA-90-18	37,6 aFG	37,7 aCD
IPA-90-73	37,7 bEFG	39,2 aABC
IPA-90-75	39,3 aABCD	39,2 aABC
IPA-90-92	37,9 bDEFG	39,0 aABC
IPA-CLONE-20	38,0 aCDEFG	38,2 aABCD
MIÚDA	39,1 aBCDEF	38,8 aABCD
REDONDA	37,1 aG	37,9 aBCD

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha e letras maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Student Newman Keuls a 5% de probabilidade.

Para a composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) no ensaio preliminar, em clones de palma forrageira, não houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os períodos avaliados, havendo

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

diferença significativa ($P < 0,05$) apenas entre os clones (Tabela 3). Verificou-se que os clones 1278-México Fodder, IPA-90-18, IPA-90-73, IPA-90-75 e IPA-90-92 apresentaram maior $\delta^{15}\text{N}$ (‰) que os demais, porém, diferindo estatisticamente apenas do clone Gigante.

Tabela 3. Média da composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰), em clones de palma forrageira no Agreste pernambucano nos anos de 2014 e 2016, no ensaio preliminar.

Tratamentos	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
1258-ADDITIONAL C.V.	12,57 AB
1267-ALGERIA FODDER (Orelha de Elefante Africana)	12,30 AB
1278-MÉXICO FODDER	13,32 A
1294-MÉXICO VEGETABLE	12,59 AB
1311-MARMILLON FODDER	12,68 AB
1317-CHILE FRUIT	12,92 AB
1327-MARMILLON FODDER	12,36 AB
ALGERIAN	12,83 AB
GIGANTE	10,92 B
IPA-90-106	12,53 AB
IPA-90-111	12,66 AB
IPA-90-115	12,00 AB
IPA-90-156	12,71 AB
IPA-90-18	13,88 A
IPA-90-73	13,37 A
IPA-90-75	13,49 A
IPA-90-92	13,71 A
IPA-CLONE-20	12,57 AB
MIÚDA	12,47 AB
REDONDA	12,83 AB

Médias seguidas de letras maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Student Newman Keuls a 5% de probabilidade.

A palma forrageira cv. Gigante apresentou uma diferença de 3 ‰, em relação aos demais clones (Tabela 3), o que pode ser um indicio de uma fixação mínima. Outras razões podem justificar tal diferença, como por exemplo, o N do nitrato absorvido do solo é mais enriquecido em ^{15}N que o N dos compostos metabolizados internamente na planta, após a assimilação do nitrato. Isso pode indicar que a palma forrageira cv. Gigante tem um perfil de N diferente dos demais clones avaliados.

O nitrogênio é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento e produção das plantas. A produtividade da planta é determinada pela interação entre o metabolismo do nitrogênio e do carbono já que a energia necessária para a assimilação do nitrogênio provém da fotossíntese e a capacidade fotossintética depende do suprimento de nitrogênio, pois grande parte do nitrogênio das folhas está alocada nas proteínas envolvidas no processo fotossintético (Salisbury et al.,2012).

Para a composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ (‰), não houve diferença significativa ($P<0,05$) entre os períodos avaliados, houve diferença significativa apenas entre os clones (Tabela 4). A rota fotossintética é o principal determinante da assinatura de $\delta^{13}\text{C}$ das plantas. No entanto, as condições ambientais podem afetar esses valores, tais como estresse hídrico, intensidade da radiação solar, altas e baixas temperaturas (Yun et al., 2008). Essas condições ambientais afetam o balanço de fracionamento entre a condutância estomática e a carboxilação (Hultine et al.,2013).

Além disso, o suprimento de nitrogênio pode afetar diretamente o $\delta^{13}\text{C}$ das plantas pelo aumento da taxa fotossintética e indiretamente pelos efeitos na eficiência no uso da água. Segundo Serret et al., (2008), o genótipo é também uma importante fonte de variação para os valores $\delta^{13}\text{C}$ das plantas e a composição isotópica do CO_2 atmosférico local tem forte influência nesses valores.

Sampaio et al., (1979), estudando $\delta^{13}\text{C}$ de cladódios jovens e maduros de *Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochennillifera* Salm-Dick, em diferentes municípios de Pernambuco, observaram que não houve diferença significativa entre o $\delta^{13}\text{C}$ das plantas colhidas nos diferentes locais e nem entre os cladódios jovens e maduros. Os valores encontrados para *Opuntia ficus-indica* Mill oscilaram entre -11,3 e -12,4‰ para a *Nopalea cochennillifera* Salm Dick entre -12,0 e -13,8‰.

Tabela 4. Média da composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (‰), em clones de palma forrageira no Agreste pernambucano nos anos de 2014 e 2016.

Tratamentos	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
1258-ADDITIONAL C.V.	- 13,76 ABC
1267-ALGERIA FODDER (Orelha de Elefante Africana)	- 14,14 BC
1278-MÉXICO FODDER	- 13,66 ABC
1294-MÉXICO VEGETABLE	- 13,56 AB
1311-MARMILLON FODDER	- 13,74 ABC
1317-CHILE FRUIT	- 13,58 AB
1327-MARMILLON FODDER	- 13,60 AB
ALGERIAN	- 13,88 ABC
GIGANTE	- 13,36 AB
IPA-90-106	- 13,52 AB
IPA-90-111	- 13,43 AB
IPA-90-115	- 13,49 AB
IPA-90-156	- 13,71 ABC
IPA-90-18	- 13,56 AB
IPA-90-73	- 14,12 BC
IPA-90-75	- 13,50 AB
IPA-90-92	- 14,10 BC
IPA-CLONE-20	- 13,22 A
MIÚDA	- 13,45 AB
REDONDA	- 14,43 C

Médias seguidas de letras maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Student Newman Keuls a 5% de probabilidade.

O clone IPA 20 teve ^{13}C menos negativo, o que indica melhor eficiência no uso da água quando comparado com os demais (Tabela 4).

Os clones estudados apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -14,43 e -13,22, o que permite observar que os valores obtidos são típicos da fixação via PEP-carboxilase e indicam que independentemente das condições ambientais e da idade da planta, a fotossíntese se dá pelo processo CAM, possivelmente com fixação de CO_2 durante a noite.

Bispo (2011), estudando bromélias amostradas aleatoriamente em região de Caatinga, encontrou valores de $\delta^{13}\text{C}$ que variam de -16,52 a -13,56‰, demonstram que

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

estas se comportam como uma planta CAM facultativa que variam de - 10‰ a - 28‰, dependendo das condições ambientais (Crayn et al., 2004).

Vale ressaltar que além do aspecto de fixação de N, outras características como resistência a praga cochonilha do carmim, produtividade, altura e largura da planta e valor nutritivo, devem ser consideradas na avaliação de clones de palma forrageira.

No experimento com palma forrageira cv. Miúda, a composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) variou significativamente ($P < 0,05$) de forma quadrática aos níveis de adubação orgânica residual (Figura 2), apresentando valores que variaram de 13,71 a 12,99 $\delta^{15}\text{N}$, no menor e maior efeito residual da adubação orgânica residual, respectivamente.

De maneira geral, esses valores indicam ausência ou níveis extremamente baixos de fixação biológica na palma forrageira cv. Miúda, nas condições do presente experimento. Valores mais baixos nos maiores níveis de adubação residual podem ser reflexo da discriminação por isótopos mais pesados durante a mineralização do estrume aplicado em anos anteriores. Segundo Freitas et al., (2010), 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.

Estimativas precisas requerem uma grande diferença nos sinais de $\delta^{15}\text{N}$ das espécies referência e das espécies fixadoras (Freitas et al., 2015). Diferenças menores que 2 ‰ entre espécies devem ser discutidas com cautela, mesmo que sejam estatisticamente significativas (Hogberg, 1997).

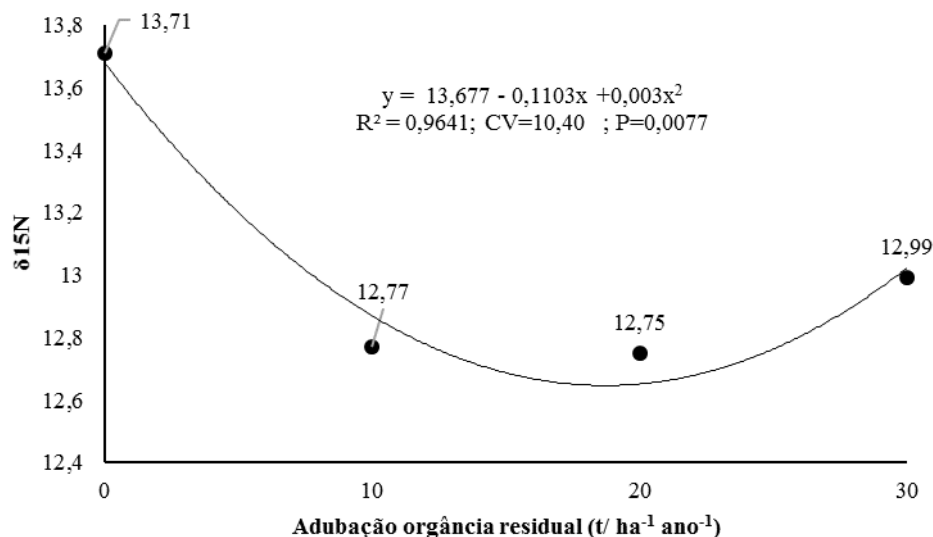


Figura 2. Composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis residuais de adubação orgânica.

O $\delta^{15}\text{N}$ na parcela sem adubação representa a influência da assinatura de N inorgânico do solo extraído pelas plantas. Pode-se assumir que a maior parte do $\delta^{15}\text{N}$ na parcela sem adubação vem do solo. A diferença entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ das plantas dessas parcelas, sem adubação, e do solo (nitrogênio total do solo) representam o fracionamento isotópico (médio) que ocorre devido ao processo de transformação de N no solo (nitrificação e desnitrificação) e na assimilação pela planta.

Segundo Lee et al., (2011), os compostos orgânicos e esterco de animais são naturalmente enriquecidos de $\delta^{15}\text{N}$, registrando valores de abundância natural de ^{15}N , marcadamente mais positivos, isto devido as perdas de N via volatilização de amônia e desnitrificação que ocorrem tanto na estocagem do esterco quanto durante a compostagem.

A composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ não foi influenciada significativamente ($P < 0,05$) por nenhum dos fatores testados para a palma forrageira cv. Miúda. A média dos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ foi de -13,97 ‰, semelhante aos valores encontrados em estudo realizado por Sampaio et al., (1979) em diferentes municípios de Pernambuco, que encontraram valores que oscilaram de -12,0 a -13,8 ‰. Esses valores indicam que independente das condições ambientais e da idade da planta, a fotossíntese se dá pelo processo CAM.

O teor total de carbono da palma forrageira cv. Miúda foi significativamente ($P < 0,05$) influenciado pela interação entre a adubação orgânica residual e adubação mineral residual (Figura 3), pela interação entre a adubação mineral residual e a frequência de colheita (Figura 4) e pela interação entre a frequência de colheita bienal e adubação mineral residual (Figura 5).

Para a interação entre os níveis de adubação orgânica residual e a adubação mineral residual (Figura 3), observou-se que para os níveis de adubação mineral residual de 0 (a), 120 (b) e 240 (c) t ha^{-1} o teor total de carbono foi reduzido de forma linear. E para o nível de adubação mineral residual de 360 t ha^{-1} (d), o teor de C teve comportamento quadrático. A medida que os níveis de adubação mineral residual se elevaram, houve o maior consumo de carbono pela planta no processo fotossintético para a formação de novos tecidos, até onde outros fatores, como pouca chuva e nutrientes, não limitaram seu crescimento e conseqüentemente produtividade, observando-se o efeito de diluição, tendo em vista a formação de novos tecidos na planta.

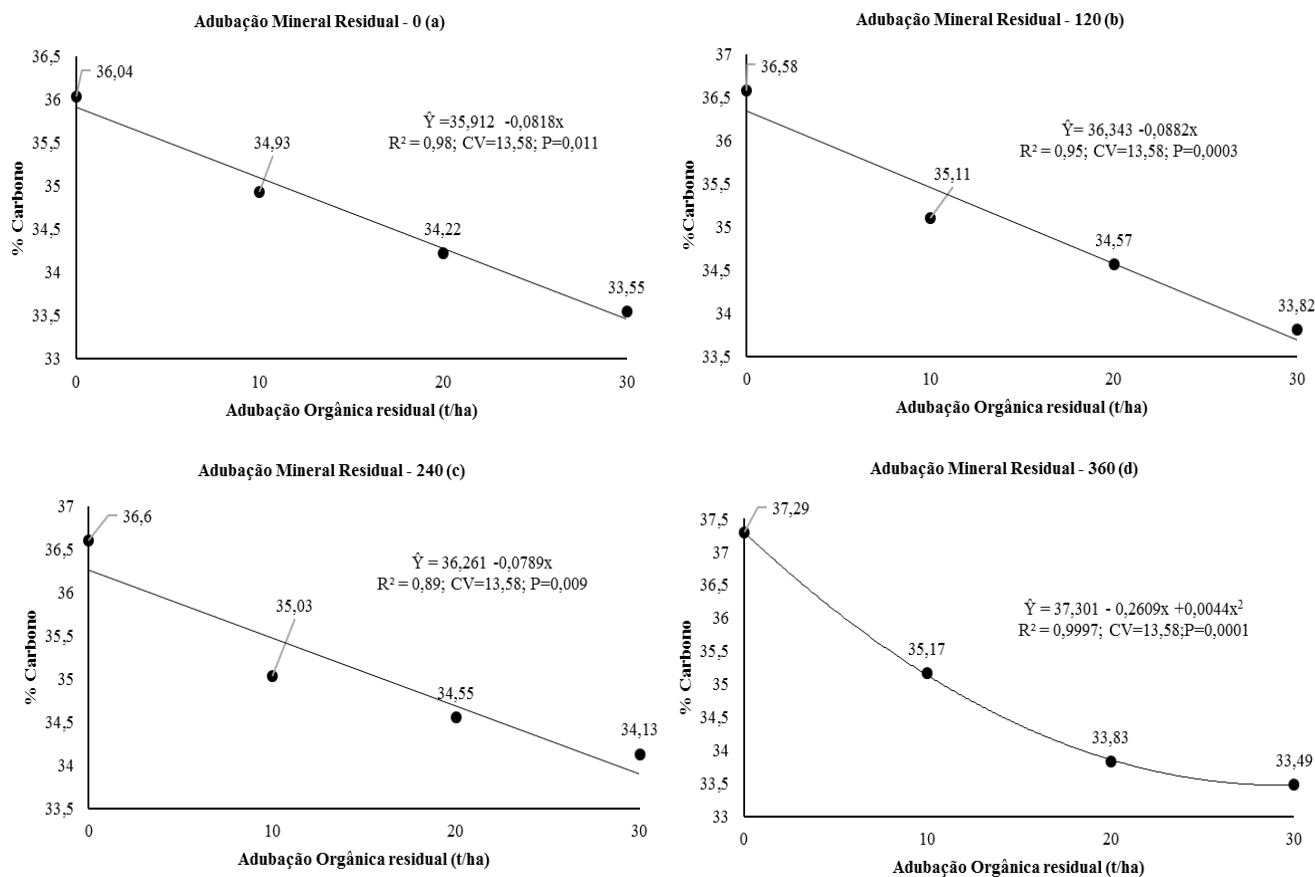


Figura 3. Abundância total de C da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis de adubação orgânica residual e adubação mineral residual. Os níveis de adubação mineral residual de 0 (a), 120 (b), 240 (c) e 360 (d) t ha⁻¹.

Na interação entre a frequência de colheita e a adubação mineral residual (Figura 4), o teor total de carbono foi maior na colheita bienal.

A maior concentração de carbono se deu na colheita bienal, provavelmente proporcionado pelo crescimento das plantas, porém, as condições ambientais ano a ano,

como a concentração de água, CO₂, nutrientes, intensidade de luz, temperatura, idade da planta, podem ser a principal causa dessa variação.

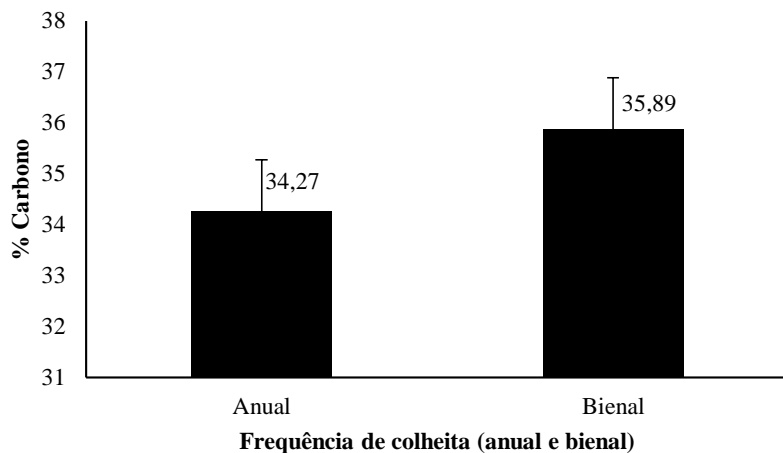


Figura 4. Teor total de C da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme a frequência de colheita (anual e bienal) e adubação mineral residual. As barras indicam erro padrão.

Na interação entre frequência bienal e níveis de adubação mineral residual (Figura 5), o teor total de carbono variou significativamente ($P < 0,05$) de forma quadrática. Maiores teores de carbono foram observados no nível de adubação mineral residual 240 kg ha⁻¹. Ao longo do período experimental, as mudanças na temperatura, acompanhadas de mudanças sazonais, afetam o grau de metabolismo das plantas CAM. Temperaturas médias e altas durante o dia tendem a aumentar o metabolismo ácido das crassuláceas. Durante a seca, essas plantas podem se converter em um modo ocioso em que os ácidos orgânicos flutuam, mas não existe uma absorção exógena de CO₂, de acordo com Zac e Ting (2015).

Segundo Inglese et al., (2017), a persistência metabolismo ácido mantém a palma num equilíbrio de energia quase positivo, permitindo a persistência por períodos prolongados e desfavoráveis. O que foi observado no presente trabalho, onde as plantas, diante de todas as adversidades apresentando crescimento e maior produtividade na colheita bienal, onde observamos maior teor de Carbono.

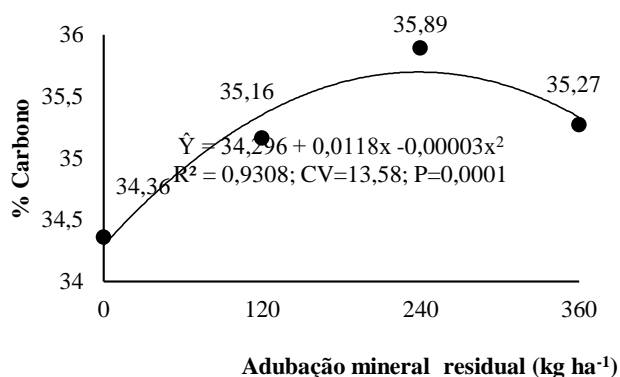


Figura 5. Teor total de C da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), conforme os níveis de adubação mineral residual e frequência de colheita bienal.

O efeito líquido da gestão intensificada no sequestro de carbono depende da magnitude relativa das mudanças na fotossíntese e respiração, segundo Zac e Ting (2015). Smith (2004) afirma que isso é consistente com uma observação comum de que a capacidade dos solos de sequestrar carbono diminui ao longo do tempo, já que os estoques empobrecidos anteriormente são reabastecidos e os solos retornam as condições de equilíbrio onde as entradas e saídas são equilibradas. Devido as condições estudadas no presente trabalho, onde não houve reposição de nutrientes ao solo, pode-se observar que

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

apesar da diferença estatística estabelecida, os valores do teor de Carbono nas plantas variaram muito pouco com a adubação mineral residual. Provavelmente, devido a variação de temperatura, por ser um dos fatores determinantes na concentração de carbono na planta. Pois, a temperatura determina a abertura e fechamento dos estômatos que atuam na captação do CO₂.

5. CONCLUSÃO

Os clones de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea* apresentam valores típicos da fixação via PEP-carboxilase e indicam que independentemente das condições ambientais e da idade da planta, a fotossíntese se dá pelo processo CAM, com fixação de CO₂ durante a noite.

A palma forrageira cv. Gigante apresenta uma composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰), o que pode apresentar indicio de fixação mínima de N.

A composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ da palma forrageira cv. Miúda não é influenciada por nenhum dos fatores testados (adubação orgânica residual, adubação mineral residual e frequência de colheita).

A média dos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ da palma forrageira cv. Miúda indica uma planta CAM obrigatória. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam ausência ou níveis mínimos de fixação biológica de N₂ atmosférico desse cultivar.

6.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bispo, S. M. 2011. Variação na composição isotópica do carbono e nitrogênio da matéria orgânica e biomassa da coroa foliar de *Aechmea aquilega* (Salisb.) grisea bromeliaceae em caatinga, agreste e mata atlântica de Sergipe. Universidade Federal de Sergipe. 60 f. (Dissertação de mestrado em Ecologia e Conservação).
- Crayn, D.M.; Winter, K.; Smith A. C. 2004. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit in the neotropical family Bromeliaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, p.3703 – 3708.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. 2006. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta. p 403.
- Freitas, A.D.S.; Sampaio, E.V.S., Menezes, R.S.C., Tiessen, H., 2010. ^{15}N natural abundance of non-fixing woody species in the Brazilian dry forest (Caatinga). *Isotopes in Environmental and Health Studies* 46, p. 210-218.
- Freitas, A.D.S.; Sampaio, E.V.S.B.; Santos, C.E.R.S.; Silva, A.F.; Souza, R.J.C. 2015. Fixação biológica de nitrogênio no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física* V. 08, p. 585-597.
- Högberg, P. 1997. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist*, Oxford, v. 137, p. 179-203.
- Hultine, K.R.; Burtch, K.G.; Ehlering, J.R. 2013. 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.
- Inglese, P.; Liguori, G.; Barrera, E. 2017. 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.
- Lajtha, K.; Michener, R. H. 1994. Stable isotopes in eology and environmental Science. Black Scientific Publications, Oxford.
- Lee, C.; Hristov, A.N.; Cassidy, T.; Heyler, K. 2011. Nitrogen isotope fractionation and origino f ammonia nitrogen volatilized from cattle manure in simulated storege. *Atmosphere*, V.2, p.256-270.
- SAS Institute. 2013. The SAS system for Windows. Release 9.4. SAS Inst., Cary, NC.
- Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 2012. Plant Physiology. 4a edição. California, Wadsworth. p. 774.

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Sampaio, E.V.S.B.; Matsui, E. 1979. $\delta^{13}\text{C}$ de plantas CAM de diferentes locais de Pernambuco. Anais. Universidade Federal Rural de Pernambuco., Recife, 4, p.7-12.

Santos, G. R. A. 2000. Composição química e degradabilidade da matéria seca de dez clones de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 37. SBZ.

Serret, M.D.; Ortiz, M.I.; Pardo, A.; Araus, J.L. 2008. The effect of urea fertilization and genotype on yield, nitrogen use efficiency, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in wheat. Annals of Applied Biology, v.156, p. 243-257.

Silva, J. A. da. 2012. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 7, supl., p. 866-875.

Silva, M. C.; Yodoyaga, D. F.; Dubeux Júnior, J.C.B.; Santos, M.V.F.; Melo, J. N.; Santos, D.C.; Ferreira, R.L.C. 2001. Influência da adubação e do espaçamento sobre a composição química da palma forrageira cv. clone ipa-20. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 38. Anais, Piracicaba: SBZ, p.233-234.

Smith, P. 2004. Soils as carbon sinks: The global context. Soil Use Manage. 20, p.212–218.

Trivelin, P. C. O.; Salati, E.; Matsui, E. 1973. Preparo das amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. 2. Ed. Piracicaba, CENA, p. 41.

Yun, S. I.; Ro, H.M. 2008. Stable C and isotopes: A tool to interpret interacting environmental stress on soil and plant. Journal of Agricultural and Food chemistry, v.56, p.261-271.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da densidade de plantio, até 83.336 plantas por hectare, favorece a produtividade da palma forrageira cv. Miúda e a eficiência de uso da chuva, na frequência de colheita bienal. O índice de área de cladódio e o número de cladódio correlacionam-se significativamente com a produtividade. O resíduo da adubação orgânica e mineral, após 4 anos, não afeta os teores de nitrogênio, magnésio e cálcio da palma forrageira cv. Miúda.

A composição isotópica do $\delta^{13}C$ da palma forrageira cv. Miúda não é influenciada por nenhum dos fatores testados (adubação orgânica residual, adubação mineral residual e frequência de colheita). A média dos valores isotópicos $\delta^{13}C$ indicam que nas condições apresentadas a palma forrageira cv. Miúda comporta-se como uma planta CAM obrigatória. Os valores de $\delta^{15}N$ indicam ausência ou níveis mínimos de fixação biológica de N_2 atmosférico pela palma forrageira. A medida que os níveis de adubação orgânica residual aumentam, na frequência bienal, a produtividade, a eficiência de uso da chuva, altura e largura da planta, número de cladódios por planta e o índice de área de cladódios também aumentam.

Para os clones de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, os teores de C e N variaram entre os clones e entre os períodos avaliados, em junho de 2014 e agosto de 2016. Os clones estudados apresentam valores de $\delta^{13}C$ entre -14,43 e -13,22‰, o que permite observar que os valores obtidos são típicos da fixação via PEP-carboxilase e indicam que independentemente das condições ambientais e da idade da planta, a fotossíntese se dá pelo processo CAM, possivelmente com fixação de CO_2 durante a noite. O clone IPA 20 teve ^{13}C menos negativo, o que indica melhor eficiência no uso da água,

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

devido ao seu metabolismo CAM. E a palma forrageira cv. Gigante apresentou diferença de 3 ‰ em relação à média da composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das demais.

APÊNDICE

Tabela 1. Características produtivas, características morfológicas e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea*

Densidade N° de plantas	Frequência Ano	Intensidade	Bloco	PMS t ha ⁻¹	PB %	MS %	ALT Cm	LAR Cm	IAC um	NC um	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹	k g kg ⁻¹
10417	Anual	1	1	7,44	2,86	5,94	56,8	85,5	4,96	27,5	9,30	18,14	2,4	13,9
10417	Anual	1	2	4,31	2,85	6,73	70,3	90,0	5,39	40,3	16,05	14,29	2,9	11,8
10417	Anual	1	3	1,37	1,80	6,60	27,3	38,3	1,21	11,3	13,52	25,70	2,5	12,8
10417	Anual	1	4	7,04	3,52	6,94	65,8	84,8	5,78	33,5	13,74	28,82	2,5	20,6
10417	Anual	2	1	1,30	2,63	5,81	57,0	68,0	3,37	22,0	12,24	27,50	2,4	29,9
10417	Anual	2	2	2,96	2,40	6,21	49,5	46,5	3,24	25,5	15,44	22,70	3,5	33
10417	Anual	2	3	11,29	2,39	5,80	81,0	103,0	5,73	75,0	10,68	21,14	2,4	18,8
10417	Anual	2	4	12,22	2,51	5,64	62,5	82,0	5,43	26,5	11,39	21,38	2,1	20,7
10417	Bienal	1	1	10,91	2,54	7,79	72,0	103,8	9,59	79,3	9,84	18,86	2,3	11,5
10417	Bienal	1	2	19,79	3,00	7,32	83,3	103,8	4,88	77,8	13,61	20,95	2,5	9,7
10417	Bienal	1	3	22,13	2,55	7,65	65,3	83,8	5,74	39,5	10,28	14,77	2,6	65
10417	Bienal	2	4	11,16	2,06	7,02	82,3	103,0	4,63	65,3	11,85	12,01	2,3	45,2
10417	Bienal	2	1	1,48	2,39	7,67	75,0	105,0	2,36	36,5	15,01	20,78	3,1	90,5
10417	Bienal	2	2	10,03	2,09	6,60	66,5	88,5	7,22	45,0	15,88	17,41	2,8	18,8
10417	Bienal	2	3	13,94	2,67	6,44	82,5	131,5	2,02	106,5	9,59	29,30	2,7	63
10417	Bienal	2	4	5,80	2,87	6,76	86,0	101,0	7,19	49,0	10,08	28,94	2,4	14,6

cochenillifera Salm Dyck) em diferentes densidades de plantio, frequências de colheita e intensidade de corte (primário e secundário).

Continua...

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Densidade Nº de plantas	Frequência Ano	Intensidade	Bloco	PMS t ha ⁻¹	PB %	MS %	ALT Cm	LAR Cm	IAC um	NC um	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹	k g kg ⁻¹
20834	Anual	1	1	11,63	2,30	8,04	65,3	80,5	2,19	38,3	9,75	17,41	2,9	38,6
20834	Anual	1	2	9,98	2,75	7,32	59,3	91,8	3,79	39,8	10,95	23,30	2,4	9,6
20834	Anual	1	3	7,49	2,38	7,99	58,0	64,5	1,53	32,3	11,62	12,01	2,9	30,5
20834	Anual	1	4	10,71	1,78	7,11	56,3	77,8	3,65	35,8	12,90	13,57	2,3	22,9
20834	Anual	2	1	11,80	2,24	8,27	59,0	60,5	12,62	87,5	9,42	20,54	2	16,7
20834	Anual	2	2	12,32	2,04	7,16	70,0	76,0	6,76	38,0	8,26	20,30	2,4	17,8
20834	Anual	2	3	7,03	1,71	6,81	61,5	85,5	9,44	50,0	11,31	13,93	2,3	35,3
20834	Anual	2	4	20,41	2,21	6,88	75,5	75,0	18,20	86,0	10,54	12,73	2,8	31,9
20834	Bienal	1	1	10,71	2,29	7,68	75,8	94,8	2,18	29,3	12,04	23,42	2,9	18,6
20834	Bienal	1	2	15,75	2,23	7,41	71,8	97,8	4,65	49,3	11,24	17,89	2	19
20834	Bienal	1	3	16,24	1,77	8,54	74,8	92,5	3,61	51,0	8,76	17,41	2,1	23,2
20834	Bienal	2	4	18,71	1,51	7,84	66,3	80,3	1,42	31,8	13,37	14,89	2,8	38,5
20834	Bienal	2	1	13,43	2,01	7,23	83,0	131,0	6,82	111,0	9,56	25,58	2,9	26,3
20834	Bienal	2	2	14,94	2,05	7,98	61,5	89,5	2,78	34,5	11,88	12,01	3,1	34
20834	Bienal	2	3	8,56	1,66	8,78	66,5	98,5	5,37	35,5	13,08	16,21	3,2	23,7
20834	Bienal	2	4	4,25	2,07	7,62	68,0	87,5	7,85	71,5	10,20	24,62	3,0	15,6

Erro! Vínculo não válido.

Continua...

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Densidade N° de plantas	Frequência Ano	Intensidade	Bloco	PMS t ha ⁻¹	PB %	MS %	ALT cm	LAR cm	IAC um	NC um	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹	k g kg ⁻¹
83336	Anual	1	1	14,78	1,95	7,73	53,5	63,5	1,18	13,5	9,88	16,33	2,7	49,3
83336	Anual	1	2	21,97	1,68	8,08	47,5	61,0	3,07	20,0	7,48	12,49	2,7	35,2
83336	Anual	1	3	27,94	1,37	7,61	70,0	67,5	2,52	28,5	8,85	11,29	2,1	22,9
83336	Anual	1	4	36,58	1,95	8,27	71,5	107,0	6,14	34,5	6,14	8,41	2,3	14,7
83336	Anual	2	1	22,73	1,73	7,46	60,5	86,0	3,60	37,0	13,00	16,45	2,8	30,7
83336	Anual	2	2	28,98	1,97	7,93	66,0	91,5	4,84	36,5	9,09	29,90	2,7	36,6
83336	Anual	2	3	45,61	2,17	8,52	42,0	73,0	6,24	32,5	8,79	14,17	2,6	21
83336	Anual	2	4	29,76	1,49	8,86	70,5	86,5	2,56	32,3	8,88	10,54	2,6	16,6
83336	Bienal	1	1	24,02	1,33	8,31	62,5	74,8	2,82	17,5	8,88	15,37	2,6	5,2
83336	Bienal	1	2	41,87	2,39	7,96	72,5	76,0	2,41	24,5	9,68	10,69	3,1	16,8
83336	Bienal	1	3	28,49	2,56	7,96	69,3	82,3	1,93	23,3	10,76	9,01	2,1	10,1
83336	Bienal	2	4	23,64	1,10	10,21	78,0	99,0	3,92	27,5	10,11	14,77	2,6	10
83336	Bienal	2	1	18,62	1,34	6,98	75,5	64,5	2,22	20,0	10,02	9,73	2,7	21
83336	Bienal	2	2	40,85	1,66	9,77	104,0	104,0	7,52	52,0	10,70	17,41	2,2	22,8
83336	Bienal	2	3	22,94	1,29	7,30	8,3	73,0	3,98	35,4	10,06	16,40	2,10	20,2
83336	Bienal	2	4	45,30	1,09	8,00	61,8	76,3	2,08	31,8	7,78	10,93	2,3	18,3

Tabela 2. Dados referente as características produtivas, características morfológicas e composição mineral da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) em diferentes doses de adubação orgânica residual, adubação mineral residual e frequências de colheita.

Org	Min	Freq	Bloco	PMS	ALT cm	LAR cm	MS g kg ⁻¹	NC um	IAC	PB g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹	k g kg ⁻¹
0	0	1	1	6,75	36,5	29,5	61,7	4	0,78	23,56	0,86	0,18	2,50	11,4
0	0	1	2	7,28	37,0	29,0	65,4	6	1,03	29,92	1,10	0,06	1,70	29,7
0	0	1	3	6,07	31,5	29,5	64,7	6	0,53	26,41	0,79	0,09	1,60	32
0	0	1	4	6,36	34,5	34,0	72,3	6	0,79	24,85	1,09	0,08	2,00	20,8
0	0	2	1	10,42	46,5	48,5	87,2	19	2,49	28,94	0,64	0,14	1,80	16,2
0	0	2	2	5,78	35,5	21,5	77,5	11	1,91	19,31	1,18	0,18	2,20	16,3
0	0	2	3	11,07	45,5	53,0	76,0	14	2,35	22,89	1,07	0,09	1,90	25,6
0	0	2	4	9,97	42,0	38,0	78,1	12	1,83	17,45	1,06	0,09	2,60	25,1
0	120	1	1	7,57	34,0	20,0	62,2	4	0,54	18,14	0,67	0,11	1,80	31
0	120	1	2	6,99	31,5	23,5	64,6	4	0,46	27,29	1,02	0,07	2,20	6,8
0	120	1	3	9,65	49,0	43,5	72,7	10	1,66	29,85	1,16	0,20	2,10	35,5
0	120	1	4	10,54	30,5	26,0	150,2	5	0,50	41,11	0,91	0,06	2,20	18,5
0	120	2	1	5,85	61,5	53,0	75,9	22	5,70	27,72	0,93	0,07	2,20	16,9
0	120	2	2	8,97	41,0	47,0	67,2	10	2,02	20,17	1,55	0,30	2,40	15,1
0	120	2	3	5,47	35,0	46,0	81,7	5	0,75	25,05	1,21	0,18	1,60	31,5
0	120	2	4	7,37	39,0	38,5	100,0	6	0,80	21,43	1,05	0,05	2,20	22,1
0	240	1	1	8,58	32,5	33,5	59,9	5	0,64	20,77	0,85	0,08	2,30	19
0	240	1	2	9,96	34,0	27,5	70,1	5	0,64	33,44	0,97	0,08	1,60	24,6
0	240	1	3	4,54	41,0	39,0	60,2	5	0,71	36,46	1,13	0,21	1,80	26,2
0	240	1	4	15,97	28,5	24,0	70,2	4	0,50	46,81	1,08	0,28	2,55	16,9
0	240	2	1	11,53	46,5	45,0	78,2	20	3,54	27,89	0,57	0,24	1,80	17,9
0	240	2	2	0,52	38,0	31,0	92,4	7	0,61	14,70	0,93	0,21	1,90	30
0	240	2	3	7,18	48,5	58,5	84,6	9	1,60	34,66	1,16	0,17	1,90	12
0	240	2	4	8,67	49,5	55,0	73,8	15	2,95	20,04	0,94	0,08	2,10	17,3
0	360	1	1	3,37	31,5	26,0	68,6	5	0,40	15,30	0,55	0,11	1,50	19,7
0	360	1	2	7,38	28,5	23,5	61,0	5	0,59	52,91	1,01	0,12	1,80	15,9
0	360	1	3	6,06	35,0	36,0	71,2	6	0,93	33,36	0,52	0,20	1,80	26
0	360	1	4	10,20	31,5	27,5	65,6	6	0,73	44,85	1,01	0,06	2,40	16,1
0	360	2	1	5,76	49,5	70,5	72,5	10	1,68	34,04	0,56	0,06	1,70	16,3
0	360	2	2	10,70	53,5	28,0	89,9	17	3,95	17,54	0,94	0,10	2,20	10,88
0	360	2	3	15,90	34,5	33,0	73,3	5	0,81	21,96	0,61	0,06	1,80	15,1

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

0	360	2	4	6,88	37,5	30,0	88,3	7	0,45	24,55	1,02	0,11	2,40	24,3
---	-----	---	---	------	------	------	------	---	------	-------	------	------	------	------

Continua...

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Org	Min	Freq	Bloco	PMS	ALT cm	LAR cm	MS g kg ⁻¹	NC um	IAC	PB g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹	k g kg ⁻¹
10	0	1	1	13,4	33,0	27,5	57,6	6	1,05	25,61	1,21	0,16	1,90	21,00
10	0	1	2	5,4	42,0	26,0	57,3	8	1,51	26,07	1,26	0,15	1,70	6,00
10	0	1	3	18,8	46,5	40,0	54,9	10	2,31	16,46	1,02	0,20	3,40	26,20
10	0	1	4	8,3	36,0	25,0	71,0	9	1,12	28,08	0,91	0,10	1,80	16,50
10	0	2	1	18,8	49,5	66,0	77,6	8	1,75	33,79	1,23	0,22	2,00	36,90
10	0	2	2	14,3	53,0	67,0	68,1	16	3,18	22,84	1,30	0,12	2,20	15,10
10	0	2	3	13,4	53,0	50,5	62,8	24	5,29	28,48	0,65	0,07	1,70	37,90
10	0	2	4	31,1	46,5	42,0	85,1	9	1,33	16,06	1,13	0,15	2,40	18,90
10	120	1	1	27,7	42,0	29,0	48,7	7	1,31	23,83	1,31	0,19	2,30	26,70
10	120	1	2	6,7	38,5	36,0	63,4	10	1,91	34,35	1,56	0,16	2,00	26,20
10	120	1	3	19,4	38,5	50,5	54,1	9	1,92	25,71	0,94	0,15	2,00	19,30
10	120	1	4	6,7	40,0	41,0	59,4	10	1,59	33,50	0,98	0,22	2,00	28,20
10	120	2	1	10,0	35,5	41,5	53,8	8	1,54	23,64	0,99	0,26	2,50	23,50
10	120	2	2	23,0	64,0	73,0	72,6	36	9,44	18,20	1,13	0,16	1,60	12,00
10	120	2	3	11,6	58,0	35,5	74,8	7	0,90	33,89	0,67	0,11	1,70	14,30
10	120	2	4	5,1	53,5	25,5	74,4	9	1,45	33,50	1,11	0,10	3,10	19,80
10	240	1	1	11,7	43,0	35,0	58,2	10	1,42	33,80	0,91	0,15	2,00	24,40
10	240	1	2	9,8	34,0	33,5	60,3	6	0,83	40,81	1,00	0,11	1,70	35,50
10	240	1	3	25,9	43,5	48,0	51,3	7	3,62	23,93	0,85	0,20	1,60	30,60
10	240	1	4	8,2	41,0	45,5	59,9	10	1,23	33,49	0,79	0,10	2,30	31,00
10	240	2	1	23,0	65,5	69,0	78,0	13	3,08	33,80	1,16	0,14	2,10	16,90
10	240	2	2	17,4	56,0	42,0	75,9	14	3,13	25,48	0,99	0,12	1,90	31,50
10	240	2	3	26,0	66,5	69,0	73,5	14	2,99	13,67	0,80	0,16	1,50	28,80
10	240	2	4	7,6	62,0	66,5	73,0	24	5,64	25,31	1,28	0,12	2,10	19,50
10	360	1	1	9,2	33,5	36,0	53,8	9	1,09	16,36	0,94	0,22	2,40	23,90
10	360	1	2	7,6	36,0	30,5	66,9	7	0,83	25,71	0,90	0,27	1,60	32,00
10	360	1	3	15,6	24,0	32,0	56,9	0	0,00	33,90	0,86	0,21	1,70	29,80
10	360	1	4	7,9	37,0	33,5	70,4	12	1,57	23,34	0,99	0,21	2,10	22,80
10	360	2	1	12,9	55,5	63,0	70,7	13	2,41	28,38	1,45	0,21	2,30	15,00
10	360	2	2	8,1	54,5	64,5	70,7	15	2,44	13,12	1,18	0,23	1,90	15,60
10	360	2	3	14,6	47,5	34,0	76,2	8	0,98	33,90	0,77	0,19	2,10	18,30
10	360	2	4	2,6	38,0	32,0	87,2	7	0,82	23,53	1,12	0,10	2,30	25,40

Continua...

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Org	Min	Freq	Bloco	PMS	ALT cm	LAR cm	MS g kg ⁻¹	NC um	IAC	PB g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹	k g kg ⁻¹
20	0	1	1	8,93	37,50	42,00	53,56	10	1,69	29,75	0,56	0,22	2,30	37,30
20	0	1	2	15,81	41,50	45,50	59,88	12	4,41	46,51	1,72	0,31	1,60	13,50
20	0	1	3	12,83	36,00	14,00	53,79	7	1,35	31,79	1,16	0,28	2,50	16,80
20	0	1	4	10,01	42,50	49,00	60,88	13	2,73	27,42	1,14	0,15	2,20	21,90
20	0	2	1	19,61	48,50	73,50	73,92	17	3,32	24,95	0,92	0,23	2,00	36,90
20	0	2	2	19,24	51,50	65,50	84,31	18	3,86	13,38	1,20	0,16	1,80	15,10
20	0	2	3	14,18	60,50	45,50	69,30	0	0,00	20,87	1,00	0,19	1,80	15,10
20	0	2	4	5,32	56,00	53,00	40,35	21	5,46	17,84	1,04	0,11	1,60	31,80
20	120	1	1	11,85	40,00	47,00	49,10	13	2,40	33,26	0,81	0,10	2,70	29,30
20	120	1	2	14,63	42,00	31,00	61,80	10	1,77	21,46	0,92	0,08	1,70	26,30
20	120	1	3	17,45	46,00	35,50	51,30	14	3,25	27,82	1,02	0,30	2,50	15,90
20	120	1	4	9,52	46,50	44,00	63,72	6	0,98	28,64	1,10	0,12	2,20	16,80
20	120	2	1	23,44	57,00	40,50	72,53	9	2,11	23,44	0,41	0,20	2,20	17,90
20	120	2	2	23,89	68,50	56,50	76,12	24	6,04	22,03	1,55	0,24	1,60	27,00
20	120	2	3	14,39	51,50	58,50	68,51	18	3,53	18,24	1,12	0,20	1,80	30,88
20	120	2	4	14,06	59,00	66,50	79,19	20	5,33	23,26	0,80	0,01	2,10	16,40
20	240	1	1	9,34	41,00	38,00	54,86	10	2,14	26,31	0,91	0,18	2,20	28,90
20	240	1	2	11,15	34,50	25,00	57,22	8	1,45	25,46	1,26	0,08	1,90	17,10
20	240	1	3	15,18	34,50	31,50	53,55	8	1,59	34,14	0,89	0,16	1,90	24,60
20	240	1	4	4,68	34,50	28,50	66,97	5	0,89	27,59	1,06	0,11	2,00	16,90
20	240	2	1	18,35	58,00	70,50	61,77	14	3,09	19,02	0,80	0,25	2,10	24,60
20	240	2	2	17,42	63,00	45,00	69,37	13	2,51	38,50	1,31	0,25	2,00	8,20
20	240	2	3	16,22	58,50	58,50	64,71	13	2,79	15,40	0,94	0,11	1,50	26,00
20	240	2	4	8,44	42,00	51,00	48,65	14	2,34	20,47	0,88	0,19	2,70	20,30
20	360	1	1	14,71	36,50	29,50	51,13	9	1,65	34,95	0,78	0,20	2,00	28,00
20	360	1	2	11,77	37,00	39,50	66,64	5	0,63	24,55	1,02	0,21	2,10	24,80
20	360	1	3	10,95	41,00	32,00	57,98	8	1,31	29,04	1,01	0,17	1,70	29,70
20	360	1	4	6,60	30,50	38,00	52,95	8	1,39	33,74	1,12	0,12	2,10	16,10
20	360	2	1	9,76	72,50	55,00	72,77	16	2,69	18,80	1,26	0,29	2,00	14,60
20	360	2	2	11,81	59,00	64,50	60,33	23	5,08	30,26	1,38	0,15	2,20	3,00
20	360	2	3	13,52	55,00	43,50	65,01	13	2,29	33,10	0,74	0,09	1,70	16,30
20	360	2	4	19,52	53,00	51,00	88,95	15	2,71	15,00	1,05	0,10	2,10	11,30

Continua...

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Org	Min	Freq	Bloco	PMS	ALT cm	LAR cm	MS g kg ⁻¹	NC um	IAC	PB g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Na mg kg ⁻¹	k g kg ⁻¹
30	0	1	1	11,86	38,50	36,50	53,84	12	2,31	21,73	1,24	0,11	1,80	21,50
30	0	1	2	12,27	32,50	36,50	59,30	8	1,29	29,67	1,12	0,16	1,70	26,20
30	0	1	3	17,90	51,50	46,50	65,50	9	1,36	25,25	1,42	0,11	1,50	24,80
30	0	1	4	14,20	49,00	38,50	56,67	12	2,97	26,01	0,94	0,12	1,90	27,60
30	0	2	1	17,25	54,00	76,00	70,66	25	5,94	41,41	1,25	0,23	2,40	19,90
30	0	2	2	15,89	60,00	63,50	51,91	19	4,72	27,78	1,05	0,22	2,00	37,90
30	0	2	3	48,85	63,50	60,50	63,69	27	5,63	17,85	0,83	0,16	3,10	23,00
30	0	2	4	20,15	62,50	62,00	73,79	43	11,19	18,72	1,06	0,23	2,10	24,10
30	120	1	1	14,79	41,00	44,00	51,27	8	1,73	20,34	0,89	0,11	2,00	18,10
30	120	1	2	14,35	40,00	41,50	57,93	7	1,36	32,14	1,22	0,30	1,90	30,60
30	120	1	3	24,75	55,00	55,50	49,40	16	3,10	45,25	0,87	0,12	1,80	26,30
30	120	1	4	13,29	36,00	30,00	57,55	11	2,42	29,45	2,07	0,11	2,60	33,00
30	120	2	1	25,88	61,50	75,50	74,37	25	5,68	47,11	0,94	0,14	2,40	19,70
30	120	2	2	19,51	59,50	75,00	71,49	18	4,43	23,04	1,17	0,23	1,60	18,80
30	120	2	3	28,65	60,00	74,00	65,09	18	3,78	24,95	0,95	0,12	2,10	27,00
30	120	2	4	7,88	53,50	60,00	72,94	15	3,48	24,65	0,71	0,09	2,20	36,60
30	240	1	1	17,49	41,00	42,00	56,87	14	3,20	17,75	0,97	0,09	2,30	22,60
30	240	1	2	24,54	38,50	34,50	60,43	10	1,88	34,85	0,91	0,09	1,70	19,30
30	240	1	3	19,30	64,50	68,00	65,00	6	0,34	41,51	0,83	0,12	1,80	17,10
30	240	1	4	17,12	40,50	31,50	61,27	10	1,98	32,96	1,23	0,31	2,90	28,70
30	240	2	1	15,14	68,50	64,50	71,70	22	4,82	25,15	0,87	0,18	2,40	21,00
30	240	2	2	17,83	52,00	52,50	72,08	13	0,94	26,86	0,97	0,11	1,80	14,30
30	240	2	3	37,13	66,00	62,00	69,18	28	5,79	21,83	0,93	0,28	2,10	28,20
30	240	2	4	26,32	68,00	49,00	69,45	22	5,90	23,14	0,81	0,14	2,10	18,00
30	360	1	1	17,91	43,00	46,00	58,71	16	3,39	24,85	1,22	0,23	1,90	23,50
30	360	1	2	15,12	51,00	43,00	57,76	8	1,84	33,20	1,19	0,29	2,10	29,80
30	360	1	3	23,15	59,50	39,00	64,13	18	3,79	47,21	1,03	0,19	1,80	13,50
30	360	1	4	16,47	43,00	57,00	81,58	11	1,97	34,65	0,81	0,30	2,30	32,00
30	360	2	1	21,41	62,50	60,50	68,72	19	3,86	45,15	0,63	0,14	2,00	22,90
30	360	2	2	19,28	55,50	40,50	54,95	11	1,88	22,09	0,96	0,17	1,90	8,30
30	360	2	3	3,45	41,00	41,00	54,17	9	1,68	20,44	1,12	0,22	2,20	14,20
30	360	2	4	36,93	60,00	58,00	82,51	15	3,12	18,50	1,02	0,13	2,10	16,10

Tabela 3. Dados referente a composição isotópica da palma forrageira cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) em diferentes doses de adubação orgânica residual, adubação mineral residual e frequências de colheita.

Orgânica	Mineral	Frequência	Bloco	$\delta^{15}\text{N}$	N [%]	$\delta^{13}\text{C}$	C [%]
0	0	1	1	13,15	1,17	-20,30	38,02
0	0	1	2	13,74	2,74	-13,80	34,61
0	0	1	3	17,64	3,93	-13,97	35,35
0	0	1	4	14,22	2,11	-14,46	35,35
0	0	2	1	14,94	2,23	-16,13	36,76
0	0	2	2	13,95	1,45	-13,97	36,26
0	0	2	3	13,47	1,65	-13,72	35,67
0	0	2	4	12,51	2,01	-13,76	36,30
0	120	1	1	12,52	2,08	-13,96	38,01
0	120	1	2	12,88	3,12	-13,70	36,61
0	120	1	3	11,73	1,61	-13,51	34,19
0	120	1	4	12,40	1,51	-14,19	38,14
0	120	2	1	13,73	3,20	-13,88	37,80
0	120	2	2	12,88	1,72	-13,86	34,69
0	120	2	3	10,46	2,21	-14,21	36,24
0	120	2	4	15,77	3,26	-14,05	36,90
0	240	1	1	13,28	2,43	-14,09	38,69
0	240	1	2	14,98	3,68	-14,14	36,30
0	240	1	3	12,00	2,82	-13,80	34,17
0	240	1	4	14,99	1,53	-13,70	35,77
0	240	2	1	12,88	2,91	-14,04	36,83
0	240	2	2	13,47	3,30	-13,95	36,89
0	240	2	3	11,53	2,13	-14,05	37,20
0	240	2	4	16,23	3,85	-14,18	36,96
0	360	1	1	15,58	3,17	-14,19	38,81
0	360	1	2	13,80	5,12	-13,89	36,62
0	360	1	3	13,04	3,79	-14,14	36,46
0	360	1	4	13,57	2,65	-14,53	37,72
0	360	2	1	16,12	2,91	-14,35	37,82
0	360	2	2	12,89	2,34	-13,99	36,89
0	360	2	3	12,80	2,69	-14,05	37,90
0	360	2	4	15,63	3,71	-14,32	36,016

Orgânica	Mineral	Frequência	Bloco	δ15N	N [%]	δ13C	C [%]
10	0	1	1	11,66	1,25	-14,12	37,68
10	0	1	2	13,41	2,13	-13,73	35,24
10	0	1	3	10,22	1,83	-13,86	35,33
10	0	1	4	14,40	2,08	-13,57	35,42
10	0	2	1	13,66	2,64	-14,09	34,64
10	0	2	2	12,20	1,36	-14,19	34,66
10	0	2	3	14,23	2,26	-14,02	31,91
10	0	2	4	12,29	1,19	-14,26	34,54
10	120	1	1	11,20	2,45	-14,00	35,83
10	120	1	2	12,55	2,79	-13,89	34,85
10	120	1	3	12,78	1,12	-13,76	33,90
10	120	1	4	14,83	2,93	-14,01	35,71
10	120	2	1	14,78	2,89	-14,32	35,03
10	120	2	2	10,88	2,08	-14,32	36,27
10	120	2	3	13,27	2,59	-14,04	33,38
10	120	2	4	13,63	1,57	-13,92	35,92
10	240	1	1	11,90	2,07	-14,01	35,90
10	240	1	2	13,39	2,92	-14,09	34,69
10	240	1	3	13,68	1,20	-13,60	33,34
10	240	1	4	15,19	3,41	-13,69	33,67
10	240	2	1	14,29	3,31	-14,05	35,59
10	240	2	2	10,09	1,86	-14,48	37,61
10	240	2	3	10,75	3,19	-14,15	33,15
10	240	2	4	12,56	1,42	-14,27	36,32
10	360	1	1	12,62	2,61	-13,74	36,70
10	360	1	2	12,54	2,88	-14,11	34,07
10	360	1	3	9,60	2,29	-13,82	33,94
10	360	1	4	13,96	2,49	-14,01	35,40
10	360	2	1	14,09	3,21	-13,98	35,61
10	360	2	2	12,57	2,00	-14,13	37,18
10	360	2	3	12,31	2,93	-13,91	33,02
10	360	2	4	13,10	1,74	-13,68	35,42

Continua...

Orgânica	Mineral	Freq	Bloco	δ15N	N [%]	δ13C	C [%]
20	0	1	1	12,92	1,88	-13,47	34,08
20	0	1	2	12,77	1,17	-13,75	36,63
20	0	1	3	10,59	2,68	-14,28	32,91
20	0	1	4	13,86	2,61	-14,00	34,51
20	0	2	1	12,64	1,34	-13,71	35,20
20	0	2	2	13,65	2,16	-13,78	32,71
20	0	2	3	11,76	3,16	-13,77	32,92
20	0	2	4	14,07	1,22	-13,79	34,86
20	120	1	1	14,04	3,00	-13,78	35,14
20	120	1	2	11,95	1,94	-13,80	33,94
20	120	1	3	12,09	2,70	-13,91	31,21
20	120	1	4	13,45	2,77	-13,77	35,27
20	120	2	1	11,74	1,93	-13,59	34,89
20	120	2	2	14,46	2,90	-13,35	35,95
20	120	2	3	13,54	1,34	-13,82	33,33
20	120	2	4	13,18	1,67	-13,80	36,79
20	240	1	1	14,61	3,11	-13,82	33,21
20	240	1	2	12,43	1,65	-13,77	30,28
20	240	1	3	13,06	2,72	-13,59	31,92
20	240	1	4	12,79	2,44	-13,74	34,37
20	240	2	1	12,82	1,35	-13,88	35,38
20	240	2	2	12,40	2,23	-13,79	41,37
20	240	2	3	11,98	1,61	-13,81	33,61
20	240	2	4	12,63	1,48	-14,55	36,27
20	360	1	1	13,57	3,68	-13,86	34,08
20	360	1	2	12,23	2,16	-13,54	33,53
20	360	1	3	11,20	2,80	-13,14	31,63
20	360	1	4	14,26	2,61	-13,73	33,44
20	360	2	1	12,34	1,63	-13,73	33,85
20	360	2	2	11,80	2,95	-13,72	33,72
20	360	2	3	10,31	1,84	-13,74	33,05
20	360	2	4	12,81	0,85	-13,89	37,34

Continua...

MENOR, T.R.F.L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio...

Orgânica	Mineral	Frequência	Bloco	$\delta^{15}\text{N}$	N [%]	$\delta^{13}\text{C}$	C [%]
30	0	1	1	14,30	2,36	-14,19	34,32
30	0	1	2	12,84	1,57	-13,67	34,70
30	0	1	3	11,12	1,78	-13,49	31,95
30	0	1	4	14,61	2,11	-13,53	34,10
30	0	2	1	13,94	1,44	-14,19	34,37
30	0	2	2	13,64	2,37	-13,93	32,94
30	0	2	3	13,79	1,42	-13,50	31,17
30	0	2	4	13,52	1,64	-13,73	34,88
30	120	1	1	13,01	2,70	-13,82	32,46
30	120	1	2	12,62	1,45	-13,81	35,40
30	120	1	3	9,77	2,01	-13,82	32,45
30	120	1	4	13,96	1,97	-13,83	34,84
30	120	2	1	12,06	1,96	-14,33	35,69
30	120	2	2	12,87	2,64	-13,44	32,35
30	120	2	3	13,64	1,76	-13,38	31,65
30	120	2	4	12,43	1,46	-14,43	35,69
30	240	1	1	13,07	2,56	-14,42	34,28
30	240	1	2	13,02	1,87	-13,88	33,32
30	240	1	3	11,12	1,61	-13,38	34,40
30	240	1	4	12,97	3,02	-14,04	33,93
30	240	2	1	12,11	2,18	-13,92	35,93
30	240	2	2	13,42	3,17	-13,83	34,30
30	240	2	3	13,14	1,51	-13,75	32,24
30	240	2	4	14,49	1,80	-13,90	34,60
30	360	1	1	12,28	3,00	-13,74	32,70
30	360	1	2	10,84	2,08	-13,75	34,22
30	360	1	3	15,04	2,20	-13,90	31,71
30	360	1	4	15,42	2,74	-13,80	32,74
30	360	2	1	13,12	2,22	-14,11	34,33
30	360	2	2	12,41	2,87	-13,46	31,86
30	360	2	3	12,31	1,64	-13,88	33,85
30	360	2	4	12,85	1,27	-13,83	36,52

Tabela 4. Dados referente a composição isotópica de clones de palma forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) no ano de 2014.

Clones	N [%]	C [%]	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
GIGANTE	0,85	39,85	12,55	-13,77
MIÚDA	1,12	39,43	11,90	-13,44
REDONDA	0,96	39,34	13,52	-13,16
IPA-CLONE-20	0,74	39,50	12,38	-13,10
IPA-90-18	0,77	39,24	12,18	-13,22
IPA-90-73	0,67	38,90	13,15	-13,11
IPA-90-75	0,80	39,65	12,14	-13,03
IPA-90-92	0,74	38,87	12,35	-13,41
IPA-90-106	0,74	40,65	10,66	-13,00
IPA-90-111	0,96	39,57	12,41	-12,91
IPA-90-115	0,65	39,17	12,50	-12,88
IPA-90-156	0,70	39,17	12,02	-12,90
1258-ADDITIONAL C.V.	0,80	37,59	11,83	-13,05
1267-ALGERIA FODDER	1,07	37,59	14,84	-13,37
1278-MÉXICO FODDER	0,75	37,69	12,59	-13,67
1294-MÉXICO VEGETABLE	0,67	39,28	13,24	-12,98
1311-MARMILLON FODDER	0,80	37,94	13,86	-13,59
1317-CHILE FRUIT	0,84	38,03	11,82	-12,71
1327-MARMILLON FODDER	0,75	39,07	12,86	-12,91
ALGERIAN	0,98	37,08	12,87	-13,99

Tabela 5. Dados referente a composição isotópica de clones de palma forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) no ano de 2016.

Clones	N [%]	C [%]	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
GIGANTE	1,38	39,16961	12,58	-13,79
MIÚDA	1,07	37,39011	12,71	-14,85
REDONDA	1,23	39,01313	13,12	-14,17
IPA-CLONE-20	1,19	39,33036	12,81	-14,03
IPA-90-18	1,16	38,58668	13,19	-14,26
IPA-90-73	1,25	39,39554	12,70	-14,06
IPA-90-75	0,89	39,19262	12,58	-14,19
IPA-90-92	0,83	39,5379	13,33	-14,37
IPA-90-106	1,05	39,10262	11,18	-13,73
IPA-90-111	1,00	39,66016	12,65	-14,13
IPA-90-115	1,04	39,35705	12,83	-13,99
IPA-90-156	1,08	38,79801	11,98	-14,09
1258-ADDITIONAL C.V.	0,90	38,00374	13,60	-14,37
1267-ALGERIA FODDER	0,96	37,74839	12,92	-13,77
1278-MÉXICO FODDER	0,90	39,18545	14,17	-14,58
1294-MÉXICO VEGETABLE	0,88	39,18911	13,75	-14,03
1311-MARMILLON FODDER	0,76	39,00436	13,56	-14,61
1317-CHILE FRUIT	0,98	38,17317	13,33	-13,74
1327-MARMILLON FODDER	0,97	38,75872	12,10	-13,99
ALGERIAN	0,96	37,92559	12,80	-14,87