



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA TROPICAL
DOUTORADO EM ZOOTECNIA TROPICAL**

REGINA MARIA FONTENELE MAGALHÃES

**ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA E NITROGENADA NO
CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA EM ÁREA DE CERRADO**

TERESINA

2021

REGINA MARIA FONTENELE MAGALHÃES

**ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA E NITROGENADA
NO CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA EM ÁREA DE
CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal - PPGCA da Universidade Federal do Piauí – UFPI, área de concentração em Produção Animal. Como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Zootecnia Tropical.

Orientador: Dr. Ricardo Loiola Edvan

Co-orientadora: Dr^a. Maria Elizabete de Oliveira

Teresina, PI

2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

M188e Magalhães, Regina Maria Fontenele.
Estratégias de adubação potássica e nitrogenada no cultivo de palma forrageira em área de cerrado / Regina Maria Fontenele Magalhães. – 2021.
132 f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí, 2021.
“Orientador: Dr. Ricardo Loiola Edvan
Co-orientadora: Dra. Maria Elizabete de Oliveira”

1. Adubação Potássica. 2. Adubação Nitrogenada. 3. Palma Forrageira. I. Título.

CDD 631.83

REGINA MARIA FONTENELE MAGALHÃES

**ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA E NITROGENADA NO CULTIVO
DE PALMA FORRAGEIRA EM ÁREA DE CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Zootecnia Tropical.

Área de Concentração: Produção Animal.

Linha de pesquisa: Avaliação, conservação e manejo de pastagens nos trópicos: avaliação de forrageiras nativas e exóticas nos diferentes ecossistemas do Piauí.

Aprovada em 15 de março de 2021.

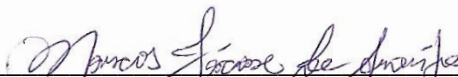
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ricardo Loiola Edvan
Universidade Federal do Piauí- UFPI
Orientador



Prof.ª Dr.ª Maria Elizabete de Oliveira
Universidade Federal do Piauí- UFPI
Co-orientadora



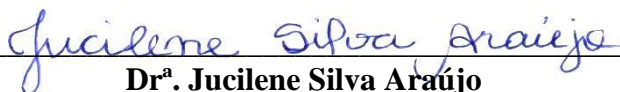
Prof. Dr. Marcos Jácome de Araújo
Universidade Federal do Piauí- UFPI
Avaliador Interno



Prof. Dr. Daniel Louçana da Costa Araújo
Universidade Federal do Piauí- UFPI
Avaliador Interno



Dr. Anísio Ferreira Lima Neto
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Avaliador Externo



Dr.ª Jucilene Silva Araújo
Instituto Nacional do Semiárido - INSA
Avaliadora Externa

Dedico

À Deus;

À minha Mãe, Raimunda Fontenele;

Ao meu Amor, Daniel Carvalho;

À minha família.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Piauí, junto a CAPES pela oportunidade de participar do Programa de Doutorado em Ciência Animal.

Um agradecimento especial ao meu orientador Professor Dr. Ricardo Edvan, pela orientação acadêmica, ensinamentos enriquecedores durante a condução da pesquisa, apoio, confiança, atenção cordial e disponibilidade sempre presentes ao longo do curso. Como professor pelos seus valiosos ensinamentos, que foram muito além dos conteúdos necessários para as disciplinas curriculares, por ele ministradas, pois sempre procurou mostrar o mais importante para a vida.

Ao Núcleo de ensino em forragicultura, por dar vida aos experimentos de forragicultura do Campus CPCE/UFPI, em especial a Dr^a. Chrislane Barreira, pela implantação e condução da parte de campo do experimento, também a todos do grupo que participaram das coletas e análises de campo e laboratoriais.

Agradeço em especial à Dr^a. Ivone Rodrigues, que dedicou muitos dias, para me ajudar nas análises laboratoriais realizadas no DZO/UFPI.

À Banca de qualificação composta pelos pesquisadores: Prof. Dr. Rafael Ratke e a minha ex-orientadora Prof. Dr^a. Socorro Carneiro e aos participantes da banca da examinadora, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos irmãos, companheiros de vida e trabalho, Ivone Rodrigues, Jandson Vieira, Shirlenne Ferreira, Francigefeson Linhares, Mariane Vieira, Zenaide Cavalcante, Gleidiane Tavares, pela acolhida, valiosa contribuição durante os experimentos, obrigada pelo esforço, paciência e dedicação e amizade.

À minha mãe e família e ao meu companheiro de vida, pelo amor, carinho e compreensão, por ter estado comigo sempre. Aos meus amados Avós Constância Fontenele e Cicero Romão e toda a família por eles contruída. Aos meus amados familiares de Teresina que me deram apoio Tia Ritinha, Tia Celeste Magalhães, e minha prima Lívian Karlane. A minha outra família de Fortaleza, Gerlene Lima, a minha madrinha Simone Lima, Dn. Arisleda Lima e Sr. Eugênio por terem me acolhido em sua residência durante parte da minha vida, sempre me dando apoio.

As amigadas cultivadas durante o período do doutorado, e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

“É preciso compreender a funcionalidade dos espinhos para admirar a beleza dos cactos!”

...“Para quem sabe cuidar, os espinhos não atrapalham em nada!”

...“Seja cacto quando preciso, mas sempre floresça quando chegar a hora!”

Marianna Moreno

Magalhães, R. M. F. **Estratégias de adubação potássica e nitrogenada no cultivo de palma forrageira em área de Cerrado.** Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina-Pi, p.132. 2021.

RESUMO

Objetivou-se de avaliar as características produtivas e valor nutritivo de *Nopalea cochenillifera*, variedade doce, em condições de sequeiro na savana brasileira em dois anos de colheita com diferentes fontes e doses de nitrogênio. O primeiro experimento foi adotado um delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial $2 \times 4 \times 2$, os fatores corresponderam a duas fontes de nitrogênio (ureia e ureia protegida por polímeros, N^+), quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ ano) e duas colheitas (ano I e ano II). Para o segundo experimento foi adotado o delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial $2 \times 4 \times 2$, onde os fatores corresponderam a duas doses de potássio (K1 - dose de recomendação com 40 kg K₂O ha⁻¹ e K2 - + 50% da dose de recomendação, com 60 kg potássio ha⁻¹), quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ ano), na forma de ureia protegida por polímeros e duas colheitas (Ano I e Ano II). Em cada ano de cultivo as plantas foram avaliadas, quanto às características de crescimento, produção, composição química, e valor nutritivo. Em relação às fontes e doses de nitrogênio, foi observado que a dose de 240 kg ha⁻¹ proporcionou maior emissão de cladódios por planta⁻¹, nas duas fontes. Na mesma dose, para a produção de massa verde, massa seca e capacidade de suporte, a utilização da ureia convencional proporcionou resultado superior em relação a fonte N^+ . A aplicação de 40 kg ha⁻¹ de potássio (K1) foi suficiente para obter os melhores resultados para as características produtivas e nutricionais no cultivo da palma forrageira, enquanto que a utilização de N protegido por polímeros na dose de até 240 kg N ha⁻¹ estimulou o crescimento e melhorou a qualidade nutricional da palma forrageira. A adubação nitrogenada e o ano de avaliação foram os principais fatores que influenciaram o valor nutritivo da palma forrageira. O uso da ureia convencional promoveu melhores resultados das características agronômicas e nutricionais da palma forrageira, variedade Doce, cultivada em latossolo amarelo de região da savana brasileira em cultivo de sequeiro, quando comparado ao uso da ureia protegida por polímeros. A dose de 40 kg de ha⁻¹ de potássio associado a 240 kg de ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia protegida por polímeros apresenta-se como melhor opção para a adubação da palma nas condições desta pesquisa.

Palavras-chave: Adubação Potássica, Ureia Protegida, Palma forrageira.

Magalhães, R.M.F. **Potassium and nitrogen fertilization strategies in cactus pear cultivation in a Cerrado area.** Thesis (Doctorate in Animal Science) - Federal University of Piauí, Teresina-PI, p.132, 2021.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the productive characteristics and nutritive value of *Nopalea cochenillifera*, a sweet variety, under rainfed conditions in the Brazilian savannah in two years of harvest with different sources and doses of nitrogen. The first experiment was adopted in a randomized block design, in a $2 \times 4 \times 2$ factorial arrangement, the factors corresponded to two nitrogen sources (urea and urea protected by polymers, N⁺), four nitrogen doses (0, 60, 120 and 240 kg ha⁻¹ year) and two harvests (year I and year II). For the second experiment, a randomized block design was adopted, in a $2 \times 4 \times 2$ factorial arrangement, where the factors corresponded to two potassium doses (K1 - recommendation dose with 40 kg K₂O ha⁻¹ and K2 - + 50% of the recommendation dose, with 60 kg potassium ha⁻¹), four nitrogen doses (0, 60, 120 and 240 kg ha⁻¹ year), in the form of urea protected by polymers and two crops (Year I and Year II). In each year of cultivation, the plants were evaluated for growth characteristics, production, chemical composition, and nutritional value. Regarding nitrogen sources and doses, it was observed that the dose of 240 kg ha⁻¹ provided greater emission of cladodes per plant⁻¹, in both sources. In the same dose, for the production of green mass, dry mass and carrying capacity, the use of conventional urea provided superior results compared to the N⁺ source. The application of 40 kg ha⁻¹ of potassium (K1) was enough to obtain the best results for the productive and nutritional characteristics in the cultivation of cactus pear, while the use of N protected by polymers at a dose of up to 240 kg N ha⁻¹ stimulated growth and improved the nutritional quality of cactus pear. Nitrogen fertilization and year of evaluation were the main factors that influenced the nutritional value of cactus pear. The use of conventional urea promoted better results for the agronomic and nutritional characteristics of cactus pear, variety Doce, cultivated in a yellow latosol of the Brazilian savanna region in rainfed cultivation, when compared to the use of urea protected by polymers. The dose of 40 kg of ha⁻¹ of potassium associated with 240 kg of ha⁻¹ of nitrogen in the form of polymer-protected urea is the best option for palm fertilization under the conditions of this research.

Key words: Potassium fertilization, Protected urea, Cactus pear.

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I-

- Tabela 1.** Composição química de variedades de palma forrageira (g kg⁻¹ de MS).....46
- Tabela 2.** Concentração de minerais presentes nos tecidos dos cladódios em genótipos palma forrageira, com base na matéria seca (g.kg⁻¹). 51

CAPITULO II-

- Tabela 1.** Características do solo da área experimental. 80
- Tabela 2.** Análise de variância dos parâmetros agronômicos da palma forrageira sob diferentes fontes e dosagens de nitrogênio, em dois anos de colheitas. 85
- Tabela 3.** Desdobramento do efeito de interação entre fontes × doses de nitrogênio nos parâmetros agronômicos da palma forrageira. 86
- Tabela 4.** Desdobramento do efeito de interação entre anos de colheita × doses de nitrogênio nos parâmetros agronômicos da palma forrageira. 86
- Tabela 5.** Análise do efeito isolado para as doses de nitrogênio nos parâmetros agronômicos da palma forrageira que não apresentaram interação. 87
- Tabela 6.** Análise de variância dos parâmetros nutricionais da palma forrageira sob diferentes fontes e dosagens de nitrogênio, em dois anos de colheita. 88
- Tabela 7.** Desdobramento do efeito de interação entre fonte de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira..... 89
- Tabela 8.** Desdobramento do efeito de interação entre doses de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira..... 89
- Tabela 9.** Análise do efeito isolado para as doses de nitrogênio nos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação. 90
- Tabela 10.** Análise do efeito isolado para os anos de colheita dos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação. 90

CAPITULO III-

- Tabela 1.** Análise de variância dos parâmetros agronômicos da palma forrageira sob diferentes dosagens de potássio e nitrogênio, em dois anos de colheita. 114
- Tabela 2.** Análise do efeito de interação entre doses de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros agronômicos da palma forrageira. 114
- Tabela 3.** Análise do efeito isolado para às doses de nitrogênio nos parâmetros agronômicos da palma forrageira, que não apresentaram interação. 115
- Tabela 4.** Análise de variância dos parâmetros nutricionais da palma forrageira sob diferentes dosagens de potássio e nitrogênio, em dois anos de colheita. 116

Tabela 5. Análise do efeito de interação entre doses de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira.	117
Tabela 6. Análise do efeito de interação entre doses de potássio × ano de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira.	118
Tabela 7. Análise do efeito isolado para às doses de nitrogênio nos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação.	119
Tabela 8. Análise do efeito isolado para os anos de colheita dos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação.	119

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- % – Percentual;
- ± – Mais ou menos;
- ® – Marca registrada;
- °C – Grau celsius;
- ° – Grau;
- A – Fração solúvel;
- AC – Área do cladódio;
- ACA – Acúmulo de água;
- AGVs – Ácidos graxos voláteis;
- AP – Altura da planta;
- B – Símbolo do elemento químico boro;
- B – Fração insolúvel potencialmente degradável;
- BA – Palma Baiana;
- C – Fração indegradável;
- C₃ – Ciclo fotossintético das plantas que produzem ao final 3 moléculas de carbono;
- C₄ – Ciclo fotossintético das plantas que produzem ao final 4 moléculas de carbono;
- Ca – Símbolo do elemento químico cálcio;
- CAM - Metabolismo ácido das crassuláceas;
- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;
- CEL – Celulose;
- cm – Centímetro;
- cm² – Centímetro quadrado;
- CMS – Consumo de Matéria Seca;
- CNF – Carboidratos não fibrosos;
- CO₂ – Símbolo da molécula de gás carbônico;
- CS – Carboidratos solúveis;
- CT – Carboidratos totais;
- CTC – Capacidade de Troca Catiônica;
- Cu - Símbolo do elemento químico cobre;
- CV – Coeficiente de variação;
- Cv. – Cultivar;
- CZ – Cinzas;

DIC – Delineamento inteiramente casualizado;
DIVMS – Digestibilidade *in vitro* da Matéria Seca;
DIVMO – Digestibilidade *in vitro* da Matéria Orgânica;
Dr. – Doutor;
Dr.^a – Doutora;
EB – Energia Bruta;
EC – Espessura do cladódio;
EE – Extrato etéreo;
ENN – Extrato não nitrogenado;
EPM – Erro padrão da média;
ETo – Evapotranspiração de Referência;
EUA – Eficiência de uso da água;
F. – Farelo;
FB – Fibra bruta;
FDA – Fibra em Detergente Ácido;
FDN – Fibra em Detergente Neutro;
Fe - Símbolo do elemento químico ferro;
g – Grama;
g kg⁻¹ – Grama por quilograma;
h – Hora;
H₂O – Símbolo da molécula de água;
H₂SO₄ – Símbolo da molécula de ácido sulfúrico;
ha – Hectare;
HEM– Hemicelulose;
IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco;
K – Símbolo do elemento químico potássio;
K₂O – Cloreto de potássio;
kg – Quilograma;
km² – Quilometro quadrado;
LC – Largura do cladódio;
LIG– Lignina;
LP – Largura da planta;

m – Metro;

m– Saturação por alumínio;

m³ – Metro cúbico;

MAC – Metabolismo ácido das crassuláceas;

MF – Matéria fresca;

mg – Miligrama;

Mg – Símbolo do elemento químico magnésio;

MI – Palma miúda;

mL – Mililitro;

MM – Matéria Mineral;

mm – Milímetro;

MN – Matéria natural;

Mn – Símbolo do elemento químico manganês;

MO – Matéria Orgânica;

MS – Matéria Seca;

MS¹ – Matéria seca em g.kg⁻¹ de Matéria Natural;

N – Símbolo do elemento químico nitrogênio;

Na– Símbolo do elemento químico sódio;

NaCl – Cloreto de sódio;

NC – Número de cladódio por planta;

NDT – Nutrientes digestíveis totais;

NH₃ – Nitrogênio amoniacal;

NRC – National Research Council;

NT – Nitrogênio total;

O₂ – Símbolo da molécula de oxigênio;

OEA – Orelha de Elefante Africana;

OEM – Orelha de Elefante Mexicana;

P - Símbolo do elemento químico fósforo;

P₂O₅ – Superfosfato triplo;

PB – Proteína Bruta;

pH – Potencial hidrogeniônico;

PIDA – Proteína insolúvel em detergente ácido;

PMS – Produção de Massa Seca;
PMV – Produção de Massa Verde;
PV – Peso vivo;
P-valor – Probabilidade exata;
 r^2 – Valor de r;
S - Símbolo do elemento químico enxofre;
SAS – Statistical Analysis System;
SB – Soma de Bases;
spp. – Espécies;
t – Tonelada;
t ha⁻¹ – Tonelada por hectare;
TNT – Tecido não tecido;
U – Umidade;
Zn – Símbolo do elemento químico zinco;
(P<0,05) – Probabilidade inferior a 5%;
(P>0,05) – Probabilidade superior a 5%;

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XII
INTRODUÇÃO.....	18
CAPITULO I-.....	20
1. Introdução.....	21
1.1. A produção de Palma forrageira no bioma Cerrado	22
1.2. Adaptabilidade da palma forrageira a regiões tropicais.....	25
1.3. Palma forrageira variedade Doce (<i>Nopalea cochenillifera</i>)	28
1.4. Adubação nitrogenada em palma forrageira	30
1.5. Fontes de adubos nitrogenados para cultivo de palma	34
1.6. Adubação potássica e sua interação com o nitrogênio no cultivo de palma.....	37
1.7. Palma forrageira na alimentação animal.....	40
1.8. Composição química da Palma Forrageira	42
1.9. Contribuições socioeconômicas do cultivo da palma	56
2. Considerações finais	58
3. Referências	60
CAPITULO II-	74
Resumo	75
Abstract.....	76
1. Introdução.....	77
2. Material e Métodos	79
2.1. Localização do experimento	79
2.2. Modelo do experimento	80
2.3. Plantio e fertilização	80
2.4. Avaliação da produção, quantidade de animais alimentados com a produção, eficiência do uso do nitrogênio e acúmulo de água.	81
2.5. Análise de composição química	82
2.6. Determinação da energia bruta	83
2.7. Degradabilidade <i>in situ</i>	83
2.8. Determinação de macro e microminerais	84
2.9. Modelo estatístico	84
3. Resultados.....	85

4. Discussão.....	91
5. Conclusões.....	96
Agradecimentos	97
6. Referências	98
CAPITULO III-	103
Resumo	104
Abstract.....	105
1. Introdução.....	106
2. Material e Métodos.....	108
2.1. Localização do experimento	108
2.2. Modelo do experimento	109
2.3. Plantio e fertilização	109
2.4. Avaliação da produção, quantidade de animais alimentados com a produção, eficiência do uso do nitrogênio e acúmulo de água.	110
2.5. Análise de composição química	111
2.6. Determinação da energia bruta	112
2.7. Degradabilidade <i>in situ</i>	112
2.8. Determinação de macro e microminerais	113
2.9. Modelo estatístico	113
3. Resultados.....	114
4. Discussão.....	120
5. Conclusões.....	125
Agradecimentos	126
6. Referências	127
CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE.....	132

INTRODUÇÃO

A região do Cerrado desde a década de 1970 vem se expandindo como centro da fronteira agrícola nacional, com intensa modificação, devido a altas taxas de desmatamentos anuais, assoreamento de rios e cursos d'água, degradação dos solos e como consequência a desertificação (Martins e Galvani, 2020). Aproximadamente 80% das terras agricultáveis apresentam moderada a alta erosão, sendo destas, cerca de 12 milhões de hectares, estão presentes nas regiões com clima seco do Brasil, que tornam esse impacto ainda maior (Salah et al., 2016).

Considerando que a irregularidade das precipitações na região com clima seco tem causado escassez de água e de produção de alimentos, é indispensável produzir forrageiras apropriadas às condições de solo e clima existentes. Nesse contexto, as cactáceas constituem um importante recurso forrageiro, devido à sua rusticidade, ao potencial de produção de forragem, além de representar uma importante fonte de água, visto que contêm em média 90% em sua composição (Santos et al., 2006). Quando associada a alimentos fibrosos e proteicos permite um melhor desempenho ao animal.

A palma forrageira tem características morfofisiológicas de adaptação ao clima semiárido, com o mecanismo de fixação do CO₂ atmosférico das plantas MAC (metabolismo ácido das crassuláceas). Com isso, pode se explicar a sobrevivência das cactáceas em épocas de total escassez de água, à eficiência do uso da água, convertendo-a em matéria seca, devido ao seu processo fotossintético peculiar que evita a perda excessiva de água pela transpiração durante o dia (Marques et al., 2017).

Dantas et al. (2017) ressaltam que a Organização das Nações Unidas reconhece o valor econômico da palma forrageira considerando como uma alternativa nutricional economicamente viável e com potencial para contribuir no combate à fome, entretanto os autores relatam que quando a palma forrageira é irrigada e adensada a produção se torna inviável se a produtividade for inferior a 150 t /ha/ano e o preço por kg de venda for inferior a R\$0,05.

Para aumentar a produtividade da palma forrageira é necessário que se faça uso da implantação de sistemas de cultivo com manejo, espaçamento e adubações adequadas, incremento de nutrientes, melhoria na qualidade nutricional da planta e consequentemente uma maior reserva de forragens para o período de estiagem (Nobel, 2001).

Os solos do Cerrado são pobres em matéria orgânica, com baixa disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Sendo este o principal controlador dos processos fotossintéticos, participando da composição de diversas moléculas orgânicas no interior das plantas, favorecendo-a com crescimento e aumento na área foliar e por consequência a produção de forragem (Almeida, 2019). Segundo o autor, a adubação é um dos recursos mais importantes que se tem no manejo de um palmar, pois proporciona às plantas um bom desenvolvimento vegetativo.

Por ser o nutriente de maior demanda, devido estar relacionado à síntese de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, fitohormônios, clorofila, entre outros (Bloom, 2015), o nitrogênio deve estar sempre disponível para utilização da planta. Com 45% de nitrogênio na sua composição, elevada solubilidade em água, boa compatibilidade a outras fontes de nutrientes (Frazão et al., 2014), a ureia convencional é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo (Fowler et al., 2015).

Dessa forma, a hipótese é que o uso da adubação nitrogenada através da ureia protegida associada ao potássio aumentará a produtividade da palma forrageira, tornando-a uma alternativa viável como incremento na produção de alimentos destinados a produção animal no Cerrado, fornecendo assim uma maior produção e rentabilidade ao produtor. Por tanto, com esse trabalho objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada e potássica sobre às características produtivas e nutricionais da palma forrageira *Nopalea cochenillifera*, em condições de sequeiro no Cerrado.

Esta Tese está estruturada em três partes, redigidas segundo as normas do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí: CAPÍTULO I - Revisão de literatura: potencial de produção da palma forrageira variedade Doce no Cerrado; CAPÍTULO II - Eficiência da adubação com ureia protegida no cultivo de palma forrageira sob condições de sequeiro em savana do Brasil; e CAPÍTULO III - Associação entre doses de potássio e ureia protegida por polímeros no potencial forrageiro de palma em solo de savana brasileira.

CAPITULO I-
REVISÃO DE LITERATURA

Potencial de produção da Palma Forrageira variedade doce no Cerrado

1. Introdução

A Palma forrageira encontra-se em todas as regiões do mundo com exceção das zonas polares (Marques et al., 2017), graças a sua adaptação aos climas árido e semiárido, tendo importante papel socioeconômico para fins alimentares (Inglese, 2017), além de ser um alimento importante para a pecuária também é utilizada para alimentação humana, brotos e frutos, produção de cosméticos e industrialização (Chiacchio et al., 2006). Sua área cultivada no mundo é mais de um milhão de hectares, em sua maioria em sistema de sequeiro (Inglese, 2017).

No Nordeste do Brasil, há de mais de 400 000 ha plantadas com palma forrageira, sendo componente chave no apoio à produção pecuária nas regiões semiáridas do país (Inglese, 2017). A ótima palatabilidade, elevado teor de água e rendimento de biomassa (Falcão et al., 2013; Gusha et al., 2015; Marques et al., 2017), são fatores podem oferecer a região Cerrado uma boa opção para a alimentação animal, com elevado potencial de produção. Devido condições climáticas instáveis, os pecuaristas nessa região devem munir-se com forrageiras adaptadas que tenham bom valor nutricional, e elevada produção de biomassa para suprimento das necessidades nutricionais dos animais.

Apesar de ser uma cultura bem adaptada às condições semiáridas, para uma elevada produção requer o controle da fertilidade do solo, com correções das suas deficiências por meio de adubações orgânicas e minerais periódicas. Pois a palma forrageira variedade doce é uma cultura relativamente exigente quanto às características físico-químicas do solo (Santos et al., 2002). É essencial a incorporação de macronutrientes como o nitrogênio e o potássio, sendo este o mais absorvido pela palma forrageira, sendo essencial ao seu desenvolvimento, para uma boa produção, visto que eles fazem parte da síntese de enzimas, composição das proteínas e interferem diretamente na fotossíntese (Andrade et al., 2000; Silva et al., 2012).

Nesse capítulo serão abordados temas a cerca da palma forrageira em relação a suas principais espécies, os principais fatores que interferem na sua produtividade, exigências nutricionais, as interações entre o potássio e nitrogênio, suas fontes, produção da palma na região do Cerrado, composição química e utilização na dieta dos animais, dando ênfase a variedade Doce, com isso mostrar as potencialidades dessa cultura como opção para uso na alimentação animal no bioma Cerrado.

1.1. A produção de Palma forrageira no bioma Cerrado

O Cerrado tem extensão de aproximadamente 2 milhões de km² (Martinelli et al., 2014), é composto pelas savanas neotropicais, que se caracterizam pela sazonalidade do clima, ocupa a segunda posição em formação vegetal do Brasil e ocorre nas regiões centro-oeste e nordeste do país, atualmente é considerado um *hotspot* global de biodiversidade rara e ameaçada (Pereira e Coneglian, 2020). Ab´Saber (2003) infere que o mesmo se constitui em um espaço físico, ecológico e biótico, de primeira ordem de grandeza, com predomínio de decomposição química das rochas cristalinas, de latossolos com relevos variados com predominância de chapadas, solos profundos e bem drenados, ácidos e com deficiência de nutrientes e a disponibilidade hídrica em abundância, ocorrência de mananciais e águas subterrâneas (Lemes et al., 2008).

Nessa região existem duas estações definidas: o inverno seco, onde as plantas ficam aparentemente secas, e o verão chuvoso, com uma fitofisionomia de savana tropical, com de vários tipos de vegetação, Cerrado *strictu sensu*, cerradão, campos, matas de galeria, matas, campos, etc (Ribeiro e Walter, 2008). O Píauí localiza-se em uma área de tensão ecológica com vegetação de transição ressalta e que a região Alto e Médio Gurguéia, encontra-se em um ecótono, havendo um complexo mosaico de tipos vegetacionais (Souza et al., 2017). Essa diversidade de fitofisionomias é resultante da variação de solos, topografia e climas que ocorrem no Brasil Central.

Por essas razões, principalmente pela alta biodiversidade, é considerado como um dos biomas mais ricos, entretanto, com o desmatamento e a falta de preservação, no Cerrado, em 2009, apenas 20% da área original estava conservada, sendo o bioma brasileiro que mais sofreu alterações (Ministério do Meio Ambiente, 2009). O MapBiomias (2021), relata que entre os anos de 1985 e 2018 o Cerrado perdeu aproximadamente 21% da sua originalidade, e que desde 1950 demonstrava intensificação de desmatamento, tendo as áreas de agropecuária um incremento de 50%.

Essas mudanças no uso e cobertura da terra promovem efeitos diretos sobre o ciclo da água, alterando os fluxos de calor e evapotranspiração, sendo esta a combinação entre os processos de evaporação da água pela superfície e da transpiração dos seres vivos, que constitui parte significativa do ciclo hidrológico representando o “retorno” da água para a atmosfera (Allen et al. 1998).

De acordo com uma análise das séries históricas mensais e anuais de precipitação de longo tempo do bioma Cerrado feita por Campos e Chaves (2020), em

125 estações pluviométricas do Cerrado, no período entre 1977 e 2010 foi verificado que 71% dos postos analisados apresentaram tendência de queda na precipitação anual, destas 14% estatisticamente significativas. Os autores ressaltam que neste período a precipitação total anual no Cerrado diminuiu 125 mm (8,4%) e que a estação seca acontece nos meses de junho, julho, agosto e setembro.

Devido às características naturais deste ambiente, sua localização geográfica, proximidade com o mercado consumidor além dos programas de desenvolvimento e expansão da agropecuária que ocorreram na década de 1970, contribuíram para que o Cerrado se tornasse área prioritária para expansão da agricultura (Pessôa, 1988).

O Cerrado tem importante participação na produção de carne no país, boa parte dessa produção é resultante de sistemas de criação realizados de forma extensiva em que há baixa produtividade animal e reduzido retorno econômico. Essa condição pode ocorrer devido ao manejo inadequado do solo e dos animais, o que induz ao rápido processo de degradação das pastagens, que é um dos maiores obstáculos para a solidez da pecuária nesta região, outro fator de igual importância é a baixa fertilização dos solos nas unidades produtivas (Petter, et al., 2012).

Com isso, vale ressaltar que uma das principais atividades econômicas do Nordeste brasileiro é a pecuária, contudo, a dificuldade de garantir alimentos para os animais ao longo do ano é um dos principais problemas principalmente no período seco do ano (Araújo et al., 2004). Embora as forrageiras nativas apresentem qualidade, a produção de matéria seca por hectare é baixa, não sendo suficiente para manter os animais por muito tempo, sendo necessárias forrageiras alternativas para a manutenção do rebanho (Lima et al., 2010).

No Brasil, 129.543 estabelecimentos produzem palma forrageira, em comparação com os que produzem outras culturas como a mandioca 974.211 e milho forrageiro 267.520, ainda é um número baixo, mas em comparação com os estabelecimentos que produzem forrageiras de corte 59.886 e sorgo forrageiro 31.524, é um número expressivo. Quanto à produção dessas culturas em toneladas/ano, percebe-se que apesar de haver um maior número de estabelecimentos produtores de mandioca a sua produção anual de 6.559.289 t/ano é baixa comparada a do milho forrageiro que é de 39.248.175 t/ano. A produção de Palma forrageira é de 2.875.034t/ ano, sorgo forrageiro 2.583.083 t/ano e forrageiras para corte 1.939.864 t/ano (IBGE, 2021).

A palma forrageira, é uma cactácea exótica que teve sua origem no México e hoje devido às suas diversas finalidades, com destaque para o uso na alimentação animal, apresenta registro em todos os continentes (Hoffmann, 1995). A necessidade de ter alimentos para os animais nas épocas de estiagem do ano, aliada às características morfofisiológicas da palma forrageira, tornou essa cactácea uma das principais culturas utilizadas na alimentação animal em grande parte de regiões com clima seco (Nobel, 1995).

Não se tem dados específicos do cultivo da palma forrageira no Cerrado, mas ele existe em algumas dessas áreas, visto que a mesma pode ser cultivada em regiões que apresentam baixa disponibilidade hídrica, altas temperaturas devido ao seu metabolismo CAM.

Quando comparado com outras regiões do Cerrado o índice pluviométrico piauiense é o menor, variando de 764 a 1.002 mm/ano, aproximadamente 60% a menos em relação à área do Cerrado com maior precipitação, que fica localizado na região amazônica, que varia entre 1.953 a 2.448 mm/ano (Campos e Chaves, 2020). Pois apesar dessa media de índice pluviométrico ser baixa, a frequência de chuvas não é regular, com grandes volumes em dias isolados durante o ano.

O cultivo da palma forrageira pode ser uma alternativa nessa região, devido sua alta eficiência no uso de água em regiões com restrição hídrica (Silva et al., 2014). Sua suculência e altos teores de umidade contribuem para saciar a sede dos animais, sendo uma opção no incremento da dieta dos ruminantes, fator de profunda relevância quando se considera a criação em zonas semiáridas em que a água é escassa.

Cândido et al. (2013) relata que ao considerar um cultivo adensado de palma com produção de 400 t de matéria verde/ha e teor de água de 90% presente na palma, presume-se que um hectare de palma forrageira pode fornecer aproximadamente 360.000 litros de água ao rebanho. Estes autores ainda relatam que ovinos alimentados com palma forrageira e feno não necessitaram de água para beber por até 525 dias. Corroborando com essa informação Lima (2002) relata que com a inclusão de 50% de palma forrageira na dieta de vacas leiteiras mestiças ocorre uma economia satisfatória na ingestão de água.

A crescente e urgente demanda pelo consumo de produtos de origem animal pela população do planeta só aumenta, refletindo em uma necessidade de produção de forragem. Cordova-Torres et al. (2017) observaram que a restrição de água e a interação

com os níveis de palma não tiveram influência no desempenho dos animais, sendo observados ganhos diários de 174g e 155g, com 30% e 50% de inclusão de palma, respectivamente, comparado com ganho diário médio de 90 g da dieta controle. Dessa maneira, a palma forrageira pode contribuir como resposta a esse desafio, devido à sua importância como fonte de reserva e usos múltiplos (Araújo et al., 2005).

1.2. Adaptabilidade da palma forrageira a regiões tropicais

Devido a um processo fotossintético especializado, metabolismo ácido das crassuláceas, as cactáceas conseguem adaptar-se a condições de climas árido e semiárido. Pois ao contrário das C_3 e C_4 . As plantas com o metabolismo CAM fixam o CO_2 presente na atmosfera no período noturno quando os estômatos estão abertos através da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase e o CO_2 é armazenado como malato capturado é transformado em ácido málico e armazenado nos vacúolos das células do clorênquima. Durante o dia ocorre a descarboxilação do ácido málico que retorna à forma molecular e desse modo a liberação de CO_2 onde é fixado na célula e liberado para participar do processo fotossintético (Pimenta et al., 1993).

Sampaio (2005) discorre que a abertura dos estômatos é fundamental para entrada de CO_2 na planta, quando isso ocorre durante o dia, como é o caso das plantas C_3 e C_4 , ocorre a perda de vapor d'água para a atmosfera. As cactáceas apresentam uma enorme vantagem nesse quesito, perdendo menos água por evapotranspiração (Taiz et al., 2017). Além do metabolismo CAM, possuem modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais de grande relevância na agricultura e pecuária, nas mais diversas regiões do planeta (Taiz e Zeiger, 2017).

A palma forrageira tem cutículas espessas, estômatos em quantidades reduzidas, além de arranjos próximos entre as células do mesofilo, cladódios espessos e suculentos, que armazenam água e carboidratos, sendo usados quando houver escassez de água e raízes ramificadas, podendo alcançar vários metros de comprimento, localizando-se próximo a superfície do solo, para aumentar o potencial de absorção de água e até do orvalho, através das suas regiões pilíferas, sendo cobertas com uma camada relativamente impermeável à água, para evitar a perda em solo seco (Scheinvar, 2012).

O sistema radicular das cactáceas contribui de forma eficiente no uso da água, sendo resistente ao estresse hídrico, com raízes fixadoras e absorventes, sendo que respectivamente as do primeiro tipo projetam nas camadas mais profundas do solo com

função estrutural e de extração de nutrientes e água, já as do segundo tipo ficam mais próximas à superfície do solo e tem como principal função a imediata captação de água, nutrientes solúveis no solo e absorver a umidade tanto da chuva quanto do orvalho (Sampaio, 2005). Com isso ocorre uma utilização mais eficiente da cultura (Oliveira et al., 2010). Em comparação com outras forrageiras, essa tem a produção mais estável de biomassa ao longo do tempo e menor impacto com a restrição hídrica (Menezes et al., 2005).

O metabolismo CAM apresenta plasticidade em relação aos ciclos C_3 e C_4 por otimizar o ganho de carbono e a eficiência no uso da água, abrindo dessa forma novas oportunidades para diversificar essas plantas em regiões com características de irregularidade hídrica (Dodd et al., 2002). Os aspectos morfofisiológicos e bioquímicos que envolvem resistência, tolerância escape e a própria condição xerofítica da palma forrageira lhe confere a condição de resistência. A tolerância está relacionada ao aspecto bioquímico, como a diminuição do metabolismo. O escape envolve um eficiente sistema de aproveitamento de água devido às suas raízes superficiais (Oliveira et al., 2011).

A menor quantidade de estômatos nas cactáceas em comparação com as plantas de metabolismo C_3 e C_4 não as tornam menos eficiente, pelo contrário são estômatos bastante ativos que auxiliam na retenção de água no interior da planta e na proteção contra insetos (Sampaio, 2005). Pimentel (1998) diz que a baixa frequência estomática, 2.500 a 3.000 por cm^2 , cerca de dez vezes menor que plantas de metabolismo C_3 , permitem à palma forrageira reduzir a necessidade de água, tornando possível sua sobrevivência por longos períodos de escassez.

A ausência de folhas, também apresenta vantagens, pois evitar a excessiva perda de água e permitir armazená-la quando retida no interior dos cladódios (Guimarães et al., 2013). Vale ressaltar que a baixa perda de água para a atmosfera, também está relacionada à presença da cutícula, que é responsável em parte pelo maior armazenamento de água na planta, esta é formada por uma camada protetora cerosa de baixa permeabilidade e composta por várias substâncias que tem a função de repelir os raios solares que incidem sobre a planta, mantendo dessa forma o equilíbrio hídrico. Essa água está presente na forma de um hidrocolóide, denominado mucilagem (Silva e Santos, 2006).

Em estudo realizado por Hernández et al. (2010) com a espécie *Opuntia ficus-indica*, foi observado que a planta manteve sua atividade fotossintética 5 meses após o

período chuvoso e em solos com reduzida umidade, mesmo assim, a planta apresentou incremento significativo de biomassa nos cladódios. Santos et al. (2005) relata que a palma tem em média 90% de água, com variação de 76% nos períodos secos e 95% nas águas. Isso ocorre devido às células do clorênquima conter vacúolos que ocupam cerca de 90% do volume celular, local onde ficam acumulados os ácidos orgânicos durante a noite.

As plantas C_4 utilizam menos água para produzir a mesma biomassa que as plantas C_3 , em função da diferença de afinidade da enzima de carboxilação, PEPcase, existente nas plantas C_4 em relação à rubisco (Santos et al., 2020). Isso faz com que as plantas C_4 , com alta afinidade pelo CO_2 , funcionam com menor abertura estomática e se torna mais eficiente no uso da água comparado as C_3 , por outro lado, nas cactáceas, a abertura noturna dos estômatos e fechamento no período diurno contribui efetivamente para redução da perda de água, tornando as plantas CAM tolerantes a seca (Matos et al., 2019), estas podem adquirir 01 g de matéria seca por apenas 125 g de água utilizada – uma razão que é 3 a 5 vezes maior que a de uma planta C_3 típica (Taiz; Zeiger., 2013).

Para Nobel (1998) o uso da água pela palma forrageira quando comparada com plantas C_4 e C_3 , é bastante significativo, as plantas de metabolismo CAM usam em média de 50 a 100 kg de água para produzir 01 kg de matéria seca, em contrapartida plantas de metabolismo C_4 podem usar de 300 a 500 kg e as C_3 podem usar em torno de 700 a 1.000 kg de água. Em condições de seca severa, embora a quantidade absoluta de captação de CO_2 atmosférico fique reduzida. A palma forrageira contém água armazenada no caule, o que favorece a abertura noturna dos estômatos, como também mantém a captação de CO_2 por mais tempo durante o período de seca.

Dantas, (2019) relata que murchas severas dos cladódios podem ser revertidas com quantidades ínfimas de água, por complementação hídrica. Dessa forma, em regiões semiáridas a produtividade da *Opuntia* pode chegar a 20 t de MS $ha^{-1} ano^{-1}$ (De Kock., 2001) em sistema por gotejamento com potencial produtivo de até 30 t $ha^{-1} ano^{-1}$. Lima et al. (2014). E Nobel, (1995) diz que quando irrigada, a mesma produz até 50 t de MS ha^{-1} .

Lima et al. (2013) utilizando somente a produção obtida em um hectare de palma forrageira irrigada (25 t de matéria seca $ha^{-1} ano^{-1}$) e em dois hectares de sorgo forrageiro para produção de silagem (21 t de matéria seca $ha^{-1} ano^{-1}$) é possível a um

agricultor familiar manter 20 vacas ou 200 cabras ou ovelhas em produção, durante um período de aproximadamente 180 dias de escassez hídrica.

Diante do exposto, as relevantes características morfofisiológicas da palma as conferem vantagens a sobrevivências em condições mais extremas, com produção de forragem de qualidade melhorando a eficiência do uso da terra, fator importante nos sistemas de produção, um aumento na produção animal. Pois com o fornecimento de palma aos animais, reduz-se o gasto energético com o deslocamento a procura de pastagem, e a área necessária para pastejo. Aspecto de fundamental importância para os produtores, além de ajudar na preservação das plantas nativas (Haliscak et al., 2016).

1.3. Palma forrageira variedade Doce (*Nopalea cochenillifera*)

Esta espécie pertence à família botânica das cactáceas, faz parte das Angiospermas, são o segundo maior grupo de plantas da região neotropical (Bravo Filho et al., 2018), com, aproximadamente, 94 gêneros e 1.159 espécies (Stevens, 2015). As cactáceas têm origem monofléctica com três grandes subfamílias: *Cactoideae*, *Pereskioideae* e *Opuntioideae*, sendo esta última a mais difundida entre as subfamílias, com caules suculentos de forma ovalada (cladódios) possuindo ou não espinhos, flores e frutos (Liberato e Aviguera, 2006). No Nordeste brasileiro os gêneros mais utilizados são o *Nopalea spp* e *Opuntia spp.*, bastante adaptadas às condições de aridez e restrição hídrica (Nobel, 1995).

O gênero *Nopalea spp.* é composto por espécies xerófitas de portes variados, adaptadas as condições de temperaturas elevadas e baixa precipitação, a espécie mais conhecida e utilizada é a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck no Brasil seu nome popular é palma Doce ou Miúda, e sua maior utilização é como alimento para os animais sendo esta uma das três principais variedades mais cultivadas (Silva e Santos, 2006).

A palma Doce quando comparada com a Gigante e a Redonda, têm menor porte, caule com muitas ramificações com raquetes de aproximadamente 25 cm de comprimento, com forma ovalada, pesando até 350g e de coloração verde intenso. Suas flores tendem ao vermelho e seu fruto é uma baga de coloração arroxeadada, sendo essa mais nutritiva e palatável (Pupo, 1979). Porém apresenta características de produção inferiores em relação a gigante e menor resistência à seca (Santos et al., 2013).

Silva, (2019) avaliou características dos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*, concluiu que as cultivares Verdura (*Opuntia sp.*) e Orelha de Elefante Mexicana (*O. stricta*) se destacam quanto ao desempenho fotossintético, enquanto IPA Clone 20 (*O. ficus-*

indica) e F21 Sementes (*Nopalea*) tem menor transpiração. As cultivares ‘OEM (*O. stricta*); Miúda (*Nopalea*) e Copena (*O. ficus-indica*) são as que têm maior eficiência de uso da água, sendo as mais indicadas para cultivo em ambientes com restrição hídrica.

A palma Doce tem elevada produção de massa de forragem e é bastante cultivada, além do fato de apresentar resistência à Cochonilha-do-Carmim (Santos et al., 2001; Vasconcelos et al., 2009) e pode substituir a palma gigante em dietas para bovinos em fase de crescimento, sem alteração do consumo e digestibilidade (Torres et al., 2009). Esta, em relação às características físico-químicas do solo, é bastante exigente, com melhores resultados em solos bem drenados, de textura arenosa à argilosa e de pH 7,0 (Barros et al., 2016).

Sua propagação se dá por via sexuada ou assexuada, sendo a propagação por cladódio a mais utilizada. Em sistemas adensados a cultura necessita de adubação química, com inclusão de macro e micronutrientes, sendo a fertilização com nitrogênio a de maior influência no crescimento e produtividade da cultura (Teles et al., 2002; Cândido et al., 2013).

Castro et al. (2020) trabalharam com lâminas de irrigação baseadas na evapotranspiração de referência (% ET₀) e perceberam que as mesmas promoveram aumentos na altura da palma forrageira, afetando o comprimento e a largura dos cladódios e que as produções de matéria fresca e seca tiveram melhores resultados com o uso de lâminas de irrigação de 40% a 50% ET₀, para a palma Miúda, também observaram que a eficiência do uso de água nesta foi maior quando aplicada uma lâmina de irrigação de 15,7% ET₀; e que esta cultivar é a mais indicada para o plantio em regiões com condições semelhantes.

A colheita da Palma forrageira pode ser realizada de forma manual, a partir de 1 ano pós plantio, vai depender das condições de desenvolvimento da planta, e após o primeiro corte, dá-se intervalos de cortes anuais (Padilha Júnior et al., 2016). Sua produtividade é menor que as espécies Gigante e Redonda, porém em termos de produção de matéria seca, as três cultivares são equivalentes pelo fato da Doce conter maiores teores de matéria seca que as outras cultivares citadas (Santos et al., 2006).

Nunes et al. (2019) verificaram a morfogênese do dossel de clones de palma forrageira: clones IPA-Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana (OEM), submetidos a três condições de ambiente de crescimento que foram: disponibilidade de água inferior à normal climatológica; superior à normal climatológica; e superior à

normal climatológica, com a adoção de cobertura morta sobre o solo, as características estruturais foram obtidas mensalmente e usadas no cálculo de taxas morfogênicas, sendo as taxas médias de crescimento da palma forrageira: largura do dossel; emissão de cladódios e, índice de área do cladódio e observaram só observaram diferenças entre os clones, não havendo efeito do ambiente de crescimento e que a modificação deste, por meio da melhoria do regime hídrico e da adoção de cobertura morta, foi determinante para alterações sazonais da morfogênese dos clones, especialmente com a antecipação das maiores taxas.

Lima et al. (2021) avaliaram o efeito da fertilização fosfatada com quatro níveis de aplicação de fósforo no solo (0; 30; 60 e 90 kg ha⁻¹) sobre a produtividade, composição química e degradabilidade *in situ* de genótipos de palma forrageira Doce, Baiano (*Nopalea cochenillifera*) e mexicano (*Opuntia tuna*) em condições de clima semiárido na região de Cerrado. A maior produção de massa total de forragem verde foi observada no genótipo Mexicano com 87.830 ± 4.220 kg ha⁻¹, FDN apresentou resposta linear com aumento de 0,285 g kg⁻¹ para cada kg de fósforo aplicado. No genótipo Doce, os maiores valores de degradação das frações “A” (fração solúvel), “B” (fração potencialmente degradável) e “C” (tempo de incubação) da MS nos níveis; 0 e 60 e 90 kg P ha⁻¹ano, respectivamente. A fertilização fosfatada aumenta a produção de genótipos de palma em região de clima semiárido e promove mudanças importantes no valor nutricional, principalmente nos teores de FDN, PB e MS.

Apesar de raros os trabalhos sobre palma forrageira no Cerrado, pois ainda não foi incorporada aos costumes locais, pode se dizer que esta região contempla características favoráveis não só a produção animal, como também a produção desta cultura, pois tem uma prevalência de latossolos amarelos, bem drenados, com disponibilidade de água subterrânea que pode ser utilizada como suporte para o aumento da produtividade e médias pluviométrica maiores que 700 mm⁻¹ano⁻¹.

1.4. Adubação nitrogenada em palma forrageira

Considerado como um dos nutrientes que causam maior impacto no desenvolvimento, produção e índices de qualidade de produtos agrícolas, o nitrogênio (N) é considerado indispensável para diversos processos metabólicos nas plantas sendo responsável por alterações morfológicas nas plantas e em condições de alto suprimento pode promover aumento da área foliar, produção de gemas vegetativas, perfilhamento e aumentar o teor de proteínas (Malavolta, 2006).

O nitrogênio é elemento chave na composição de enzimas, vitaminas, clorofila e demais constituintes celulares, essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além de atuar na regulação do processo fotossintético, síntese de carboidratos, alocação de fitomassa e carbono, sendo o elemento mineral presente em maiores quantidades no tecido vegetal, demonstrando sua alta exigência de pelas plantas (Bredemeier e Mundstock, 2000).

Deve-se levar em conta que o N disponível no solo é controlado tanto pela mineralização da matéria orgânica quanto pela adubação nitrogenada e que os solos citados do Cerrado em sua maioria são pobres em matéria orgânica, sendo imprescindível a adubação e a reposição dos nutrientes necessários a produção da cultura e a reposição destes. Mas para isso deve-se levar em consideração tanto a exigência da cultura quanto a análise de solo.

Como o Cerrado apresenta a prevalência de solos com baixos teores de matéria orgânica, a adubação nitrogenada é fundamental para aumentar os índices produtivos (Silva et al., 2005), pois tem grande relevância no sistema de produção vegetal. Estudos voltados para essa questão podem resultar em definição de doses necessárias para maximizar a eficiência do seu uso, sendo que através do uso da luz e substâncias inorgânicas básicas, as plantas sintetizam todos os seus componentes (Taiz e Zeiger, 2017).

Almeida et al. (2012) relata que a palma responde bem à adubação, isso independente do cultivar utilizado. As respostas à adubação são incremento da área foliar e de matéria seca, com reflexos positivos no crescimento das plantas e na produtividade, sendo observados resultados semelhantes em cultivos adensados e com adubação orgânica associadas com adubos químicos. Os nutrientes mais extraídos pela palma forrageira são o N, P, K e Ca (Nobel, 1995).

O nitrogênio possibilita alterações nas plantas, quando em condições de alto suprimento. A adubação é um dos recursos de extrema importância para o palmar, pois favorece às plantas bom desenvolvimento vegetativo, devido aos baixos teores de matéria orgânica e fósforo em solos nordestinos, a adubação constitui-se como meio de aumento de produção da cultura.

Vários fatores podem influenciar a produtividade da palma, tais como: fertilidade do solo, espaçamento, mudas utilizadas para o plantio, pragas e doenças. A adubação pode aumentar a quantidade de biomassa, levando-se em consideração as

características dos solos da região de cultivo. Para melhor desenvolvimento da palma forrageira, o nutriente nitrogênio é fundamental, visto que participa da composição, síntese de proteínas e atividades fotossintéticas da planta (Andrade et al., 2000).

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais acessível, porém muitas vezes ocorre uma baixa eficiência na sua utilização, podendo causar impactos agronômicos e até mesmo ambientais, devido a alta susceptibilidade de perdas de N (Pan et al., 2016), visto que no solo enzimas ureases a transforma em amônia, um produto volátil. Também pode haver perdas através de: lixiviação de nitrato, durante os processos de nitrificação e desnitrificação ou pelo processo de imobilização do N pelos microrganismos do solo (Vieira, 2017). Diante disso, foram criadas estratégias para reduzir tais perdas, e uma delas é a ureia de liberação controlada, ureia revestida com enxofre, esta forma uma película de proteção ao grânulo da ureia e promove a saída por difusão do nutriente para o meio externo, atendendo a demanda de forma gradual desse nutriente pela planta (Snyder et al., 2017).

O uso da adubação nitrogenada para o aumento da produtividade da palma forrageira é imprescindível, de modo que venha produzir reflexos positivos no sistema de produção. Para isso, alguns fatores como a fonte do adubo e o parcelamento das doses, devem ser observados, pois são essenciais no manejo dessa fertilização, e podem diminuir as perdas por volatilização e lixiviação (Costa et al., 2010).

O parcelamento das doses na adubação nitrogenada é uma estratégia eficiente para mitigação da lixiviação do N no solo, principalmente quando realizada durante o período chuvoso (Costa et al., 2013). Sendo as fontes mais utilizadas: a ureia $[(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)]$ e o sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, podendo apresentar baixa eficiência, principalmente pela volatilização da amônia (Schiavinatti et al., 2011).

Uma maior disponibilidade de N no solo pode melhorar o valor nutricional da planta aumentando o seu teor de proteína, carboidrato e fibra, dentre outros (Dubeux et al., 2006; Silva et al., 2013). Desta forma, é importante avaliar os efeitos dessa fertilização sobre as características da palma forrageira e seu impacto sobre a produção e manejo.

Lima et al. (2020) para determinar a área de cladódio e o fator de correção de três cultivares de palma forrageira, por diferentes métodos, sob fertirrigação nitrogenada em condições de campo em região semiárida utilizou 2 lâminas de irrigação (100 e 25% da ET_0), 2 níveis de adubação nitrogenada (0 e 600 kg ha^{-1} de N) e 3 cultivares de palma

forageira (OEM, IPA-Sertânia e Miúda). E percebeu que a lâmina de irrigação de 100% da ET_0 associada à dose de N de 600 kg ha^{-1} proporcionaram as maiores áreas de cladódios da palma forrageira.

Jardim et al. (2019) para avaliar a dinâmica de água no solo cultivado com a cultura da palma forrageira em região semiárida sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado, em condição de sequeiro e irrigado realizou o experimento submetendo a palma forrageira OEM a 4 sistemas de plantio, resultantes da combinação de duas condições hídricas (sequeiro e irrigado com base em 75% da evapotranspiração de referência) e de 2 configurações de cultivo (apenas a palma e em consórcio com o sorgo, cv. SF15). Concluíram que as lâminas de irrigação e os eventos de chuvas afetaram a variação no armazenamento de água e na evapotranspiração real e que a dinâmica de água no solo cultivado com a palma forrageira é mais afetada pelo uso da irrigação do que pela adoção do consórcio com o sorgo.

Ferraz et al. (2020) observaram, nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro, cinco níveis de reposição da evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% da ET_0), nas variedades de palma forrageira Miúda e OEM, utilizaram 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 65 kg ha^{-1} de K_2O e 900 kg ha^{-1} de N. E concluíram que o nível de reposição de 75% da ET_0 proporcionou maior equilíbrio entre os nutrientes nos cladódios da variedade ‘Miúda’, já a variedade ‘OEM’ teve melhor balanço nutricional com os níveis de reposição de 100 e 125% da ET_0 . Nestes últimos níveis também houve um elevado acúmulo de íons Na^+ e Cl^- nos cladódios das variedades estudadas. Maior produtividade de biomassa das variedades ‘OEM’ e ‘Miúda’ foi obtida com reposições 75 e 100% da ET_0 , respectivamente. A ‘OEM’ teve maior capacidade de acúmulo de nutrientes e produtividade de biomassa.

Para que se tenha êxito e longevidade na produção da palma forrageira é necessário o comprometimento rotineiro nos tratos culturais, dentre estes a adubação química tem papel fundamental na produtividade e lucratividade. Lopes et al. (2018) ressaltam que as ordens de acúmulo de macronutrientes em safra anual foram: K (146,5) > Ca (204,6) > N (128,1) > Mg (75,8) > S (50,3) > P (3,7) e em safra bienal foram: K (397,2) > N (191,3) > S (241,2) > Ca (167,8) > Mg (131,0) > P (14,1) e concluem que a manutenção, ou fertilização da produção em palma a deve ser planejada de acordo com o potencial produtivo, manejo de fertilização e colheita e região de cultivo, com base sobre a exigência nutricional e considerando a eficiência de recuperação de nutrientes.

Neste cenário a adubação nitrogenada destaca-se devido à importância do nitrogênio para o sucesso dessa produção, por ser o macronutriente mais requerido, e ao passo que também é o mais desperdiçado, seja por lixiviação, volatilização, entre outras, isso ocorre porque em contato com o solo o N tem uma dinâmica bastante complexa, que pode comprometer seu fornecimento no desenvolvimento da planta.

Apesar da ampla utilização, e das pesquisas mostrarem que a produtividade é diretamente proporcional a dose, a adubação nitrogenada ainda não atingiu a sua máxima eficiência, este ainda é um dos maiores desafios e para isso ainda é necessário estudos tanto com a utilização de novas tecnologias com formas mais aproveitáveis desse nutriente pelas plantas como a sua forma de utilização, resultando em alta produção de qualidade, com impactos ambientais ínfimos e consequentemente lucratividade.

1.5. Fontes de adubos nitrogenados para cultivo de palma

Dentre as fontes nitrogenadas mais utilizadas no Brasil estão a ureia (45% de N), o sulfato de amônio (21% de N e 23% de enxofre - S), o nitrato de amônio, (50% N-nítrico e 50% N-amoniaco), fosfato monoamônico ou MAP (10% de N e 46 a 50% de P_2O_5) e fosfato diamônico ou DAP (16% de N e 38 a 40% de P_2O_5). A utilização de misturas entre diferentes fontes pode tornar o aproveitamento do N mais viável pela cultura utilizada. Dentre as fontes a ureia tem como vantagens o baixo custo de transporte, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de incorporação com outras fontes. Como pontos negativos, apresenta elevada higroscopicidade, sendo perdida na forma de NH_3 para a atmosfera (Raij, 1991).

Vale ressaltar que a eficiência dessa fertilização depende de alguns fatores, dentre os quais estão as condições climáticas, tipo e acidez do solo, teores de argila, distribuição de chuvas, doses e interação entre o fertilizante nitrogenado e outros nutrientes.

A eficiência pode ser obtida na fase em que o N é mais requerido pelas plantas, permitindo a correção de deficiências durante o desenvolvimento das culturas (Sims et al., 1998; Mar et al., 2003), pois estar presente em inúmeros compostos orgânicos, dentre eles, todos os aminoácidos e ácidos nucléicos. Sua baixa disponibilidade no solo é fator limitante da produtividade das plantas em geral (Epstein e Bloom, 2006).

Lara Cabezas et al. (2000) dizem que o ideal é que estas adubações sejam realizadas de maneira parcelada, principalmente quando aplicadas em altas doses, no

intuito de evitar perdas por volatilização, lixiviação, desnitrificação, escoamento superficial e imobilização microbiana.

A mistura da ureia com outras fontes de fertilizantes pode ser opção para evitar as perdas de N-NH₃ por volatilização, a junção de ureia (50%) com sulfato de amônio (50%) facilita a redução das perdas de amônia devido à menor quantidade de ureia e pelo efeito acidificante do sulfato de amônio, que contribui para a redução do pH em face da hidrólise da ureia (Vitti et al., 2002).

O sulfato de amônio apresenta como vantagens: solubilidade em água, é pouco higroscópico, tem boas propriedades físicas, estabilidade química e ainda oferece o 24% de enxofre em sua composição, sendo este um macronutriente essencial a cultura da palma, Lopes et al. (2018) diz que o acúmulo anual e bienal de S na palma forrageira é de 50,3 e 241,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente. Mas em contrapartida, este fertilizante tem como desvantagens apenas 21% de N na sua composição, tornando seu custo mais elevado devido ao aumento da quantidade volume implicando maiores gastos com aplicação e transporte em relação à ureia.

O nitrato de amônio é solúvel em água, sendo metade na forma nítrica e metade na forma amoniacal totalizando 32% de nitrogênio. Contudo apresenta sérias restrições quanto ao seu uso, transporte e estocagem devido a sua utilização na fabricação de explosivos, dificultando seu uso na agricultura (Raij, 1991).

Os fosfatos Monoamônico (MAP) e diamônico (DAP) contém o N na forma amoniacal, são solúveis em água, e podem ser usados em diferentes tipos de solos e culturas com exigências elevadas em fósforo, tais como a palma. Apresentam a vantagem da absorção do fósforo pelas raízes, que é potencializada pela presença do nitrogênio. São fáceis de transportar e armazenar, não sendo higroscópicos. Contudo, pelo dobro de N na sua composição o DAP pode ter perdas mais elevadas por volatilização quando aplicado em solos com características alcalinas.

Devido a necessidade de amenizar as perdas do nitrogênio por volatilização e lixiviação, surgiram os fertilizantes de liberação lenta ou controlada, estes são classificados como produtos formados por compostos originados da condensação de ureia e ureia aldeídos, os quais tem baixa solubilidade e liberação lenta, como ureia formaldeído (38% de N) ou são classificados como produtos encapsulados, por enxofre elementar, polímeros orgânicos e resinas apresentando liberação lenta (Trenkel, 1997).

Esses fertilizantes nitrogenados de liberação lenta são compostos pelo grânulo solúvel revestido com materiais poliméricos, que podem ser sintéticos ou orgânicos, servindo de barreira física, semipermeável, reduzindo a saída por difusão do nutriente para o meio externo, atendendo a demanda de forma gradual desse nutriente pela palma (Snyder et al, 2017). Então, devido, tanto a grande demanda pelo nitrogênio, como a suscetibilidade as perdas, deve-se optar pela utilização destes fertilizantes (Guelfi, 2017). Porém ainda persistem muitas dúvidas a esse respeito, pois existem muitos trabalhos com resultados inconsistentes nas regiões tropicais do Brasil.

Gomes, (2018) avaliou o crescimento, produção e composição química do genótipo de palma forrageira Doce em região de savana no Cerrado, submetida a diferentes estratégias de adubação nitrogenada, sendo as parcelas duas frequências de aplicação de N (Total: 30 dias e fracionada: 30 e 60 dias de cultivo) as subparcelas de quatro doses de N (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e as sub-subparcelas dois municípios (Curimatá e Riacho Frio) que foram o local de cultivo da palma forrageira.

O autor citado relata que esta cultivar responde positivamente à adubação nitrogenada para crescimento e produção, que os maiores valores foram encontrados com adubação de 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (68,0 t PMV ha⁻¹ e 3,7 t PMS ha⁻¹), que teve um aumento na produção em relação à aplicação de diferentes doses e frequências de adubação nitrogenada, o município Riacho Frio teve maior produção em número de cladódios, espessura, comprimento, perímetro, largura e altura, que a maior EUN foi encontrada com a dose 100 kg N ha⁻¹, a menor dose utilizada resultou em menor utilização de N e um maior retorno em produtividade, já com a maior dose, 400 kg N ha⁻¹ EUN foi menor: 25,55 Kg MS/ kg de N ressaltando que estes dados que podem ser explicados pela capacidade fisiológica que a planta tem de absorver e utilizar esse macronutriente, onde, apesar de não haver uma estagnação no crescimento da planta, com um grande aumento na oferta do N, haverá uma saturação e com isso a eficiência no seu uso ficará prejudicada.

Fernades et al. (2005) aplicaram doses de N: (0, 30, 90 e 180 kg ha⁻¹), em seis cultivares de milho em região de Cerrado e perceberam a diferença de produtividade entre as cultivares, sendo a dose de 110 kg ha⁻¹ a que propiciou a máxima produtividade com 6.000 kg ha⁻¹ de grãos. Em contrapartida a eficiência de absorção, das cultivares, alcançaram melhores resultados quando se utilizou a dose de 30 kg ha⁻¹ de N e foi

diminuindo quando a dose de N foi aumentada, devido às maiores perdas de N, nas doses mais elevadas, e à própria capacidade de absorção das cultivares.

Tartaglia et al. (2020) com o objetivo de avaliar a eficiência de utilização de N (EUN) e para determinar o acúmulo de MS e N naturalmente das cultivares de algodão, submetidas à fertilização com N no Região semiárida brasileira, observaram que o algodão acumula cerca de 130 kg ha⁻¹ de N ao longo de seu ciclo de produção; O N acumulado no algodão é direcionado, em ordem decrescente, para sementes (56,3%), folhas (29%), caules (10,6%) e fibras (3,8%); e que a EUN e a eficiência de recuperação diminui com o aumento das doses de N; sendo a EUN é definida como o relação entre o produto colhido (grãos, fibras ou matéria seca) e a dose de N aplicada. Deve-se ressaltar que na cultura de algodão com safras anuais, a eficiência de recuperação de nutrientes é considerada baixa, em média 50% para N, 10% para P e 40% para K (Baligar; Bennett, 1986).

Portanto, levando-se em consideração que o N é o nutriente mais exigido pela palma, que sofre várias transformações no solo e que espécies e cultivares respondem diferentemente à sua aplicação. Sendo, importante a comparação com outras culturas a fim de dimensionar a eficiência de utilização do nitrogênio para a palma forrageira.

1.6. Adubação potássica e sua interação com o nitrogênio no cultivo de palma

A palma também deve ser adubada com outras fontes minerais, fosfatados (superfosfatos simples e triplo, fostatos monoamônico - MAP e diamônico – DAP), potássicos (cloreto de potássio, sulfato de potássio, nitrato de potássio, etc.) e fontes de micronutrientes (FTE BR-10, BR-12, etc.), conseguindo-se maiores índices de eficiência e maiores produtividades em curto prazo (Cândido et al., 2013).

O potássio é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, sendo essencial para todos os organismos vivos, não somente pela sua concentração nos vegetais, mas pelas suas diversas funções nos processos bioquímicos celulares (Mengel e Kirkby, 2001). Este nutriente atua no controle osmótico catiônico celular, ativa diversas enzimas, além de participar no transporte de membranas e neutralização de ânions (Epstein e Bloom, 2006).

Marschner (1995) relata que o potássio participa da translocação dos carboidratos oriundos da fotossíntese, da síntese protéica e da ativação enzimática. Em casos de deficiência, algumas plantas acumulam carboidratos solúveis, diminuem o

acúmulo de amido e compostos nitrogenados. Esse elemento é absorvido na forma de K^+ e não passa por alterações no interior das plantas Raij (1991).

Este nutriente estar relacionado à eficiência da utilização da água nos vegetais, sua concentração celular é determinante para a abertura e fechamento dos estômatos (Kano et al., 2010). Quando há deficiência de K^+ na palma forrageira ocorre lentidão na abertura e fechamento dos estômatos, com isso a planta perderá a eficiência no uso da água, caso contrário ocorre turgidez nas células dos artículos e conseqüentemente um maior armazenamento de água (Lopes, 1998). Dessa forma, a deficiência de potássio tende a reduzir a resistência da palma forrageira à seca, pois irá diminuir a turgidez em condições de restrição hídrica, ficando também susceptível ao ataque por fungos (Raij, 1991).

A palma forrageira tem elevada capacidade de produção quando bem manejada, mas, para isso requer que as suas exigências nutricionais sejam supridas, sendo recomendada a aplicação de fertilizantes potássicos e nitrogenados, além de outras fontes minerais quando necessário, de acordo com as necessidades mostrada pela análise de solo, que deve ser realizada pelo menos a cada biênio.

O N e K estão entre os elementos mais extraídos pela palma, sendo o primeiro, componente essencial de hormônios e clorofila, e o segundo, relacionado a diversas reações fundamentais ao metabolismo vegetal, a interação entre eles e sua relação com a produção de MS e qualidade da cultura produzida (Usherwood, 1982).

O nível de K extraível do solo apresenta correlação direta com a produtividade (Menezes et al., 2005). A palma forrageira apresenta altos teores de K, sendo provável que a resposta a este elemento aumente face à elevada extração deste nutriente pela palma forrageira, podendo atingir valores superiores a 1 t ha^{-1} no biênio (Farias et al., 2005). O que torna a reposição desses nutrientes ao solo indispensável para o sucesso da produção desta cultura.

Ressalta-se a importância do conhecimento da dinâmica do N e K na planta e no solo, a fim de serem compreendidas as interações entre eles, para aperfeiçoar seu uso, pois estas se dão em diferentes momentos e locais, quando se considera o sistema solo-planta. Quando ocorre no solo, leva-se em consideração as diferentes formas de equilíbrio e transporte dos íons, seja na rizosfera, nas membranas ou no interior da planta (Rosolem, 2005).

Bull (1993) relata que a interação entre esses dois nutrientes obedece à lei do mínimo, de forma que ao aplicar o N em doses para elevar a produção, os baixos teores de K aplicados no solo limitam a atuação do nitrogênio. Da mesma forma que a resposta de determinada cultura ao K dependerá do nível de adubação nitrogenada. O suprimento de nitrogênio será proporcional ao aumento de produtividade devido à atuação do K (Heathcote, 1972; Dibb e Thompson Júnior, 1985).

Macleod (1969) verificou o efeito de interação entre esses dois nutrientes, ao observar que à medida que a nutrição potássica foi melhorada, os teores de nitrogênio nas plantas ficaram menores em razão da diluição. Quando a situação inversa foi testada, houve aumento da disponibilidade de nitrogênio, o metabolismo deste nas plantas, é requerido pela presença de quantidades adequadas de potássio no citoplasma (Xu et al., 2002).

A maior absorção de potássio facilita a rápida assimilação do NH_4^+ absorvida, mantendo baixos teores e evitando a toxidez. Em situações de deficiência potássica, ocorre o acúmulo de NH_4^+ e lesões decorrentes à toxidez por este íon (Ajay et al., 1970; Dibb e Welch, 1976). Alguns autores sugerem que o potássio na solução do solo provoca a redução da absorção de NH_4^+ , outros observaram que não há tal competição (Scherer et al., 1984; Daliparthy et al., 1994). Contudo, Xu et al. (1992) diz que a inconstante interação entre K^+ e NH_4^+ resulta na inibição da absorção de potássio e em outros casos na redução da produtividade pela falta de NH_4^+ na solução do solo.

Monteiro et al. (1980) relatam que quando as forrageiras foram adubadas com N reduziram a produtividade devido a inadequados níveis de K, sugerindo relação entre absorção e aproveitamento desses elementos. K e N estão ligados tanto na produção de massa verde da parte aérea das plantas, quanto na biomassa das raízes. A interação entre eles também pode ser dependente das condições climáticas, condições do solo, potencial da cultura e de balanço entre os nutrientes.

Silva et al. (2012) perceberam que o K foi o macronutriente mais acumulado em cladódios da palma, ou seja, o mais absorvido pela planta. Observaram também que a interação do N e K facilita a absorção de ambos. A produção de MV e MS também é modificada pela adubação potássica, ressalta-se que esse mineral promove decréscimos nas concentrações de Ca e incrementos de S nas plantas (Dubeux Júnior et al., 2010). De acordo com Ruan et al. (1998 e 1999), o potássio está envolvido nas fases iniciais (redução nitrato) e finais do metabolismo do nitrogênio.

A produção de matéria verde e teor da matéria seca podem ser influenciados pela adubação potássica. Dubeux Júnior et al.(2010) avaliaram os efeitos dos níveis de potássio 0; 200; 400 e 800 kg de K_2O ha^{-1} e de fósforo com 0; 200; 400 e 800 kg P_2O_5 ha^{-1} no crescimento e composição química da palma forrageira clone IPA-20. Observaram que os valores médios apresentados para N, P, K, Ca, Mg e S foram de 20,62; 4,75; 33,43; 34,43; 7,44 e 6,10 g kg^{-1} , respectivamente. A produção de matéria verde e o teor da matéria seca foram influenciados apenas pela adubação K e que os teores dos micronutrientes estudados não foram influenciados pela aplicação de P e K. As doses de P aplicadas promoveram decréscimo nos teores de N, Ca e Mg da parte aérea da palma e acréscimo nos teores de K e S. As doses de K promoveram decréscimo no teor de Ca e acréscimo no teor de S da parte aérea da palma forrageira clone IPA-20.

A compreensão sobre a interação entre potássio e nitrogênio em todos os processos do vegetal é de fundamental importância, não só no sentido de alcançar altas produtividades, mas em buscar a máxima eficiência na utilização desses nutrientes pela planta, resultando em menores custos de produção de matéria seca de qualidade.

1.7. Palma forrageira na alimentação animal

A palma forrageira foi introduzida no Brasil na cidade do Rio de Janeiro, pelos portugueses em meados de 1818, para a produção de corante vermelho através do inseto que se desenvolve nos cladódios chamado “cochonilha do carmim”, *Dactylopius opuntiae*, para utilização na indústria (Simões et al., 2005). Desde então, a palma alcançou espaço considerável na agricultura, sendo cultivada em grandes áreas, tem sido considerada fundamental para a alimentação dos ruminantes na região Nordeste (Leite et al., 2014; Lira et al., 2017).

O potencial e a importância da palma forrageira para o desenvolvimento de regiões áridas e semiáridas foi reconhecido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2001), considerando-se de maneira especial os países que estão em desenvolvimento, haja vista que a exploração dessa cultura pode contribuir não só para sanar os déficits na alimentação animal, como também na alimentação humana. Ressalta-se ainda, o papel desta cultura na proteção da fauna local, e na cobertura dos solos das regiões áridas e semiáridas, contribuindo para a redução do processo de desertificação (Reynolds e Arias, 2001).

As espécies de palma forrageiras mais cultivadas no Brasil pertencem aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, com uma área que em 2013 era 500.000 ha, concentrando-se na região Nordeste cerca de 450.000 ha. E o restante cultivados no estado de São Paulo para a produção de frutas, vendidas nos principais supermercados das capitais brasileiras e exportadas para a Europa e para os Estados Unidos (Pereira; Lopes, 2011; Dubeux-Júnior et al., 2013).

A estacionalidade da produção forrageira em decorrência da irregularidade no regime das chuvas é um dos principais fatores que limita o sistema de produção animal em regiões do Nordeste brasileiro. Entretanto, as cactáceas despontam nesse cenário como alternativa alimentar, demonstrando eficiência na alimentação de ruminantes (Carvalho et al., 2018).

A palma forrageira, dentre as cactáceas, é a mais difundida, cultivada e utilizada na alimentação animal do Brasil. Suas características de alta produtividade, versatilidade nas formas de consumo (*in natura*, farelos, silagem ou como emoliente), ser fonte de água rica em minerais, permitem a essa cactácea a preferência quase que exclusiva por parte dos produtores rurais (Soares e Silva Júnior, 2012).

Leite et al. (2014) relata que ocorre cultivo de palma forrageira em larga escala pelos produtores de gado de leite no Nordeste brasileiro, principalmente nos estados de Sergipe, Alagoas, Bahia, Pernambuco e Paraíba, nos quais estima-se que há aproximadamente 500 mil hectares cultivados, sendo desta forma, uma das principais opções de alimento para o gado leiteiro na estiagem.

Tradicionalmente os criadores nordestinos utilizam o sistema extensivo de produção, nele os animais tem como fonte principal de alimento a forragem, que geralmente é a pastagem nativa, ou um pasto de capim, sem uma preocupação com a escassez de práticas de conservação, os tornam dependentes de concentrados comerciais na época de estiagem e sem destino para o excesso de produção de forragem, que são desperdiçadas durante o período das águas.

Desta maneira, a palma forrageira surge nesse cenário como essencial nas épocas mais críticas do ano devido a suas características nutricionais, reduzindo o consumo de água pelos animais, além de ser imprescindível e economicamente viável na alimentação dos ruminantes (Ferreira, 2009). Podendo ser fornecida de diversas formas: *in natura* picada no cocho, desidratada, em forma de farelo ou como silagem. Em países africanos como o Marrocos a silagem de palma é bastante difundida pelos

criadores locais que são habituados em associar a silagem da palma com restos de culturas como milho, sorgo e gramíneas forrageiras (Adous, 2016).

1.8. Composição química da Palma Forrageira

Diante da grande diversidade genética existente da palma forrageira, a uma preocupação em utilizar o genótipo mais adaptado à situação local, e que tenha uma melhor resposta em produção e qualidade nutricional. É importante conhecer os genótipos mais cultivados, e seus componentes nutricionais, que podem variar de acordo com: componentes climatológicos, o solo e os tratos culturais, diferentes estádios fenológicos do cladódio.

Silva (2019) avaliou a composição química de diferentes estádios fenológicos do cladódio (jovem, intermediário e maduro) de genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia* (IPA-200016, IPA-200174, IPA-200008 e IPA-200149) e *Nopalea* (IPA-100004, IPA-200021 e IPA-200205) em região semiárida. Os conteúdos dos nutrientes variaram MS (61,42 a 83,80 g.kg⁻¹ MN), MM (146,46 a 181,83 g.kg⁻¹ MS), MO (818,17 a 853,54 g.kg⁻¹ MS), EE (15,59 a 22,68 g.kg⁻¹ MS), PB (57,51 a 71,24 g.kg⁻¹ MS), FDN (232,57 a 357,62 g.kg⁻¹ MS), FDA (115,61 a 213,23 g.kg⁻¹ MS), CNF (433,12 a 504,93 g.kg⁻¹ MS) e CT (738,89 a 773,56 g.kg⁻¹ MS), ressaltando que a composição química e bromatológica dos genótipos de palma forrageira apresenta variabilidade nos diferentes estádios fenológicos do cladódio e que corte dos cladódios em estágio jovem e intermediário prioriza as maiores concentrações de proteína bruta e carboidratos não fibrosos.

Na Tabela 1 está resumida a composição química encontradas por diversos autores, das principais espécies de palma forrageira. No geral, pode-se observar que os baixos teores de matéria seca, das espécies Miúda, Orelha de elefante e Gigante têm em média 120, 95 e 107 g kg⁻¹ de MS, proteína bruta 56, 68,48 g kg⁻¹ de MS, respectivamente, assim como se pode observar o baixo teor de FDN, e alta proporção de carboidratos não fibrosos.

Sabe-se que alguns fatores como a adubação e o espaçamento, orientação de plantio podem alterar a composição química da palma. Silva et al. (2013) estudaram a composição química da palma forrageira cultivada em três espaçamentos (1,00 x 0,50 m; 2,00 x 0,25 m e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e quatro fertilizações (000-000-000; 000-150-000; 200-150-000 e 200-150-100) kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e relataram que os teores médios de MS, PB, FDA, diferiram para as adubações

independentemente dos espaçamentos, os teores médios de MO e MM diferiram entre os espaçamentos, independentemente das adubações. CT variaram com as adubações e espaçamentos, de forma independente. Já EE, FDN, CEL, LIG, CNF (A + B1), fibra disponível (B2) e fibra indisponível (C), não diferiram entre os fatores espaçamentos e adubações. Teores médios de HEM, e produção de MS, foram dependentes das interações entre as adubações e espaçamentos aos 620 dias após o plantio.

Leite et al. (2018) avaliaram as características estruturais, produtivas e nutricionais da palma forrageira, *Nopalea cochenillifera*, cv. Miúda- PM, utilizou-se 05 doses de N (0, 150, 300, 450 e 600 kg de N ha⁻¹), e 02 orientações de plantio (Norte/Sul e Leste/Oeste). Com exceção das espessuras de cladódio secundário e terciário, as características morfométricas da PM não foram influenciadas pelas doses de N, sendo a média da altura de 120 cm e área do cladódio primário, secundário e terciário de 160,9; 208,0 e 158,4 cm², respectivamente. A aplicação de adubo nitrogenado, nas condições de sequeiro e doses avaliadas não afetou a PMV, de PMS e o teor de MS, sendo as médias de 276,0 t ha⁻¹, 43,2 t ha⁻¹ e 15,7%, respectivamente. O incremento das doses de N não melhora a maioria das características morfométricas e nem a PMS da PM aos 730 dias após o plantio.

Apesar da diversidade de trabalhos com palma forrageira ainda são escassos em ambiente de savana brasileira, foi encontrado o trabalho de Lima et al. (2021) que avaliaram o crescimento, produção, composição química e degradabilidade *in situ* de diferentes variedades desta cultura sob efeito de diferentes doses de adubação fosfatada nessa região. Foi utilizado três variedades de palma forrageira (palma miúda - PM e baiana - PBa (*Nopalea cochenillifera*) e a palma orelha de elefante mexicana - OEM (*Opuntia tuna*) e quatro doses de adubo fosfatado (0 kg P ha⁻¹; 30 kg P ha⁻¹; 60 kg P ha⁻¹; e 90 kg P ha⁻¹), avaliando número de cladódios, altura da planta, comprimento, largura e perímetro e espessura dos cladódios.

Os autores relatam que o maior rendimento de massa total de forragem verde foi observado na OEM com 87.830 kg ha⁻¹, e houve aumento de 34.630 kg ha⁻¹ de MV ha⁻¹ com aplicação de 90 kg P ha⁻¹ mostrando que a palma forrageira corresponde positivamente a adubação fosfatada, para as variáveis de massa verde de forragem por planta, massa verde de forragem total, e número de cladódios. Para eficiência agrônômica as mais indicadas para a região são OEM e PM, que respondem satisfatoriamente ao clima. Em relação à composição química houve efeito para

interação entre as doses fosfatadas e as variedades, para as variáveis avaliadas (MS, MM, MO, PB, FDA, HEM, LIG, CEL, CNF e CHOT), com exceção do EE e FDN. Foi verificado também que a OEM apresentou o maior valor médio da fração A (g kg^{-1} de MS), em relação a PM, e baixo valores de C, que é a taxa de degradação da fração B (g kg^{-1} de MS) uma menor taxa de degradação da fração B (g kg^{-1} de MS h^{-1}) da MS dessas forrageiras reflete um melhor aproveitamento da forrageira pelo animal. Para a degradabilidade ruminal da MS e PB, em função dos períodos de incubação, as variedades apresentaram o mesmo comportamento, o pico foi em 6h e a estabilidade a partir das 12h.

Batista et al. (2009) observaram composição química (Tabela 1) e a degradabilidade dos nutrientes no rúmen de oito cultivares de palma (7 eram do gênero *Opuntia* e 1 *Nopalea*) na região semiárida do Brasil e inferem que o aumento das doses de N até 600 kg ha^{-1} não melhora a maior parte da morfometria características ou o rendimento de matéria seca da palma forrageira cv. Miúda aos 730 dias após o plantio, sob chuva sistema alimentado. A dose de nitrogênio de $333,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ associado ao plantio Norte/Sul arranjo promove melhores resultados para o conteúdo de proteína bruta, quando a palma é cultivada no Arranjo Norte/Sul apresenta melhores teores de CNF e digestibilidade total nutrientes.

Estes resultados mostraram que a FDN foi semelhante para todas as cultivares e teve uma média 249 g.kg^{-1} , a FDA variou entre 148 g.kg^{-1} e 207 g.kg^{-1} com algumas diferenças significativas entre cultivares. O amido e os carboidratos solúveis em água foram semelhantes para todas as cultivares e tiveram em média 198 g.kg^{-1} e 155 g.kg^{-1} , respectivamente. O conteúdo de proteína foram inferiores a 50 g.kg^{-1} com algumas diferenças significativas entre cultivares. O Ca foi o mineral com maior concentração seguido pelo potássio e magnésio sem diferenças entre cultivares (Tabela 2). A degradabilidade ruminal efetiva da matéria seca e da FDN não foi afetada pela cultivar e em média 701 g.kg^{-1} e 503 g.kg^{-1} , respectivamente, e concluíram que as cultivares tiveram pouco impacto sobre composição química e degradabilidade ruminal.

Os autores supracitados também ressaltam que apesar da variação que pode ocorrer na composição química da palma forrageira entre cultivares, esta é uma excelente fonte de carboidratos fermentáveis para ruminantes e pode ser utilizada como alimento de emergência ou como parte de uma dieta completa, desde que a dieta contenha uma quantidade adequada de proteínas degradáveis.

A densidade de cultivo também inerência na morfometria dos genótipos de palma forrageira. Cavalcante et al. (2014) avaliaram a morfometria, produtividade e composição químico-bromatológica dos genótipos de palma forrageira: Gigante, Redonda e Miúda, em diferentes densidades de cultivo de 10.000 plantas ha⁻¹, 20.000 plantas ha⁻¹, 40.000 plantas ha⁻¹ e 80.000 plantas ha⁻¹, observaram que o aumento na densidade de cultivo resultou em maior produtividade e, conseqüentemente, maior acúmulo de água e nutrientes ha⁻¹ a cada 2 anos e que os genótipos apresentaram comportamentos diferentes, quanto à morfometria, produtividade e composição químico-bromatológica, e que, independentemente da espécie, o plantio adensado elevou a produtividade (t.ha⁻¹), a palma Miúda teve maior produtividade de matéria seca e, conseqüentemente, maior acúmulo de NDT, PB e água.ha⁻¹, e maior digestibilidade *in vitro* da matéria seca (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química de variedades de palma forrageira (g kg⁻¹ de MS).

Variedades	Espécie	MS ¹	CZ	MO	PB	EE	FDN	FDA	CT	CNF	NDT	HEM	CEL	LIG	Autores
Baiana	<i>N. cochenillifera</i>	114	35	867	41	17	225	198	809	554	860	28	162	36	Carvalho et al. (2020)
Baiana	<i>N. cochenillifera</i>	94	98	902	54	13	360	205	841	402	845	135	156	49	Lima et al. (2017)
Baiana	<i>N. cochenillifera</i>	94	97	906	54	13	332	205	841	401	816	134	190	48	Lima et al. (2021)
F-21	<i>N. cochenillifera</i>	84	149	851	58	20	309	132	772	494	906	177	-	-	Silva (2019)
F-21	<i>N. cochenillifera</i>	81	190	810	42	35	250	148	733	483	854	122	118	12	Moraes (2012)
IPA-Sertânia	<i>N. cochenillifera</i>	74	86	815	59	16	236	140	740	504	780	96	125	15	Rocha Filho (2012)
IPA-Sertânia	<i>N. cochenillifera</i>	72	146	854	61	21	274	138	774	505	887	136	-	-	Silva (2019)
IPA-Sertânia	<i>N. cochenillifera</i>	134	137	863	20	34	177	90	773	632	906	108	75	8	Moraes (2012)
IPA-Sertânia	<i>N. cochenillifera</i>	168	94	833	40	7	219	134	859	640	915	85	117	18	Paulino (2019)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	120	186	814	62	21	269	160	731	474	766	109	146	14	Batista et al. (2003)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	187	81	813	33	20	241	148	660	439	775	93	135	13	Batista et al. (2009)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	142	112	887	34	19	267	104	834	567	910	163	80	24	Cardoso et al. (2019)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	125	129	871	35	14	225	190	822	598	889	35	148	42	Carvalho et al. (2020)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	78	175	825	43	31	328	200	751	423	57	13	16	4	Cavalcante et al. (2014)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	92	119	908	36	30	265	100	830	656	1025	165	-	-	Gouveia et al. (2019)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	149	85	851	60	20	472	149	648	352	574	327	-	-	Leite et al. (2018)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	101	116	884	54	15	360	175	815	461	909	179	131	43	Lima et al. (2017)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	101	115	899	53	15	359	174	814	460	906	179	131	43	Lima et al. (2021)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	100	157	900	13	15	320	220	815	650	660	100	-	-	Monção et al. (2020)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	95	186	814	30	34	223	114	750	527	857	130	93	8	Moraes (2012)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	107	124	893	45	15	300	200	816	516	895	100	153	41	Moreira et al. (2021)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	142	112	858	34	22	267	104	830	567	918	163	80	24	Moura (2012)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	92	119	908	36	15	265	100	815	565	900	165	-	-	Moura et al. (2020)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	62	120	938	40	11	338	285	829	491	894	53	-	-	Nascimento et al. (2020)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	109	156	844	44	14	243	146	786	534	853	97	121	25	Oliveira et al. (2018)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	161	112	888	58	17	238	-	814	576	909	-	-	-	Ramos et al. (2020)

Variedades	Espécie	MS ¹	CZ	MO	PB	EE	FDN	FDA	CT	CNF	NDT	HEM	CEL	LIG	Autores
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	96	107	848	46	17	246	128	875	539	869	118	112	16	Rocha Filho (2012)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	74	159	842	65	19	261	146	758	486	855	115	-	-	Silva (2019)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	140	87	913	33	11	202	200	870	667	928	2	107	93	Silva et al. (2017)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	169	81	831	30	21	182	88	870	664	923	93	78	10	Silva et al. (2021)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	103	126	897	55	22	373	126	797	797	790	247	-	-	Torres et al. (2009)
F-08	<i>O. atropes</i>	98	131	870	49	17	301	159	804	503	891	142	138	21	Pessoa et al. (2020)
F-09	<i>O. atropes</i>	66	181	818	62	16	277	160	739	433	808	117	-	-	Silva (2019)
Ad 1258	<i>O. ficus indica</i>	148	76	852	36	19	241	162	666	445	765	79	155	7	Batista et al. (2009)
Algeria	<i>O. ficus indica</i>	126	94	874	44	17	246	183	617	381	709	63	173	10	Batista et al. (2009)
Arronches	<i>O. ficus indica</i>	146	86	854	73	16	184	106	826	642	744	78	97	-	Rodrigues et al. (2016)
Cacela-Velha	<i>O. ficus indica</i>	141	80	859	83	14	186	105	823	637	745	81	94	-	Rodrigues et al. (2016)
Chile	<i>O. ficus indica</i>	138	79	862	39	23	249	158	632	404	744	91	150	8	Batista et al. (2009)
Copena-F1	<i>O. ficus indica</i>	67	290	933	98	20	223	144	600	613	778	79	130	14	Haliscak et al. (2016)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	93	151	907	102	14	315	223	733	419	868	92	190	33	Aguiar et al. (2015)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	80	44	920	44	20	468	256	882	586	699	212	-	-	Araújo et al. (2008)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	144	146	854	64	19	281	173	771	500	757	108	159	14	Batista et al. (2003)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	153	81	847	44	24	248	179	625	398	753	69	166	13	Batista et al. (2009)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	64	159	841	54	30	283	209	757	474	59	7	16	5	Cavalcante et al. (2014)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	107	142	893	51	20	254	220	786	532	724	34	-	-	Melo et al. (2003)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	106	125	894	40	24	-	225	811	524	721	-	220	5	Pessoa et al. (2009)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	82	53	925	46	22	244	130	857	614	954	114	96	34	Rocha Filho (2012)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	95	128	873	68	29	313	169	775	485	932	147	151	20	Silva et al. (2013)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	78	163	922	48	10	291	258	779	503	698	33	253	5	Tosto et al. (2007)
Gigante	<i>O. ficus indica</i>	91	126	909	49	21	319	205	841	501	735	114	202	30	Wanderley et al.(2012)
Idanha-Velha	<i>O. ficus indica</i>	137	88	863	68	14	165	95	810	666	752	69	88	-	Rodrigues et al. (2016)
IPA 90-155	<i>O. ficus indica</i>	170	68	830	37	23	263	207	711	468	820	56	190	17	Batista et al. (2009)

MS¹: g kg⁻¹ de Matéria fresca; OEM: Orelha de Elefante Mexicana; OEM: Orelha de Elefante Africana; *O:Opuntia*.

Variedades	Espécie	MS ¹	CZ	MO	PB	EE	FDN	FDA	CT	CNF	NDT	HEM	CEL	LIG	Autores
IPA-20	<i>O. ficus indica</i>	138	171	829	60	18	284	189	751	463	848	95	109	17	Batista et al. (2003)
IPA-20	<i>O. ficus indica</i>	156	72	844	37	20	247	185	690	464	793	62	173	12	Batista et al. (2009)
IPA-90-92	<i>O. ficus indica</i>	165	78	835	34	23	255	178	690	462	803	77	165	13	Batista et al. (2009)
Forte	<i>O. ficus indica</i>	130	98	870	78	14	198	114	810	612	738	84	106	-	Rodrigues et al. (2016)
OEM	<i>O. ficus indica</i>	68	148	852	69	23	265	149	765	485	871	116	-	-	Silva (2019)
Porto Alegre	<i>O. ficus indica</i>	129	86	872	70	16	199	114	829	630	738	85	106	-	Rodrigues et al. (2016)
Redonda	<i>O. ficus indica</i>	61	178	823	52	32	271	193	738	468	56	8	14	5	Cavalcante et al. (2014)
Sesimbra	<i>O. ficus indica</i>	142	92	858	72	15	179	107	821	642	743	72	98	-	Rodrigues et al. (2016)
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	93	102	898	51	15	331	172	828	496	913	159	141	30	Pessoa et al. (2020)
IPA-20	<i>O. ficus-indica</i>	98	94	906	48	17	302	160	841	539	928	142	137	22	Pessoa et al. (2020)
V-19	<i>O. larreri</i>	61	150	850	71	20	256	145	758	493	865	111	-	-	Silva (2019)
OEM	<i>O. stricta</i>	73	292	927	96	20	305	130	592	287	733	175	123	7	Haliscak et al. (2016)
OEM	<i>O. stricta</i>	90	130	870	61	36	240	107	773	533	915	143	85	13	Moraes (2012)
OEM	<i>O. stricta</i>	93	120	880	56	16	173	127	836	663	927	45	119	8	Pessoa et al. (2020)
OEM	<i>O. stricta</i>	107	132	868	36	14	517	-	805	289	874	-	-	-	Resende et al. (2020)
OEM	<i>O. stricta</i>	77	177	859	69	19	262	139	771	509	781	123	110	29	Rocha Filho (2012)
OEM	<i>O. stricta</i>	65	151	850	71	16	254	153	758	488	849	101	-	-	Silva (2019)
OEM	<i>O. stricta</i>	127	85	915	33	12	227	173	870	642	930	55	65	108	Silva et al. (2017)
OEM	<i>O. tuna</i>	105	41	885	53	12	258	213	821	563	900	45	172	41	Carvalho et al. (2020)
OEM	<i>O. tuna</i>	75	147	853	58	6	360	205	787	300	732	181	191	31	Lima et al. (2017)
OEM	<i>O. tuna</i>	74	147	926	57	6	357	204	786	300	728	181	155	30	Lima et al. (2021)
OEA	<i>O. undulata</i>	98	108	892	57	16	289	131	820	530	912	158	121	11	Pessoa et al. (2020)
OEA	<i>O. undulata</i>	82	112	860	51	10	250	155	799	549	873	95	125	30	Rocha Filho (2012)

MS¹: g kg⁻¹ de Matéria fresca; OEM: Orelha de Elefante Mexicana; OEM: Orelha de Elefante Africana; *O:Opuntia*.

Azevedo Junior. et al. (2019) avaliaram a produtividade e o teor de nutrientes em palma forrageira OEM, conduzida sob irrigação complementar, com esgoto doméstico tratado, os tratamentos foram constituídos da fertirrigação com efluente de esgoto doméstico tratado, aplicando-se uma lâmina fixa de 3,5 mm, distribuída em quatro diferentes intervalos de irrigação (2,3 dias, 7 dias, 14 dias e 21 dias) e uma testemunha absoluta (cultivo sem irrigação). Após 234 dias do 1º corte realizado na palma, foram estimadas as PMV e PMS, assim como, determinado os teores de macro e micronutrientes na biomassa. E concluíram que a complementação hídrica realizada por irrigação viabilizou satisfatoriamente a produção de biomassa da palma forrageira, que a complementação hídrica de 3,5 mm por irrigação com efluente de esgoto doméstico tratado, com intervalos de 2,3 e 7,0 dias promove a maior produtividade na OEM e que o efluente de esgoto doméstico tratado é viável para irrigação e fertirrigação da palma forrageira, carecendo da suplementação mineral adicional com P, Ca e Zn.

Silva (2019) avaliou a composição mineral de diferentes estádios fenológicos do cladódio (jovem, intermediário e maduro) de genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia* (IPA-200016, IPA-200174, IPA-200008 e IPA-200149) e *Nopalea* (IPA-100004, IPA-200021 e IPA-200205) em região semiárida. Os conteúdos dos nutrientes variaram, ressaltando que a composição mineral dos genótipos de palma forrageira tem variabilidade nos diferentes estádios fenológicos do cladódios e que corte dos cladódios em estágio jovem e intermediário prioriza as maiores concentrações de minerais. Na tabela 2 estão a composição mineral de todos os genótipos no estágio fenológico intermediários estudados pelo autor.

A palma forrageira é rica em água e mucilagem, lhe conferindo a característica de suculência, além de possuir expressivos teores de minerais (Tabela 2), principalmente K, Ca, Mn e Mg, além de ser fonte de energia, vitaminas, folato e compostos bioativos (Wanderley et al., 2002; Silva e Sampaio, 2015). Mas é necessário salientar que para fornecer estes teores de minerais, a palma forrageira necessita de adubação com o fornecimento de macro e microminerais, para atender suas exigências de produção. Neste sentido Silva et al. (2012) relatam que na a produção de 17,10 t.MS ha⁻¹ de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química aos 620 dias pós-plantio ocorre a extração média, em kg ha⁻¹, de N: 299,25; P:20,52; K:425,79; S:63,27; Ca:458,28; Mg:213,75; B: 0,38; Cu: 0,08; Fe: 0,77; Mn: 23,16; Zn: 1,12; Na: 0,69.

Ferraz et al.(2020) relatam que a composição mineral das variedades de palma forrageiras 'pode ser otimizada a partir da gestão da água do solo, com nutrição adequada e equilíbrio para maior rendimento. Observaram que o nível de reposição de 75% ETo para a 'Miúda' e 100 e 125% ETo para a'OEM' promovem maior equilíbrio entre os nutrientes no cladódios destas, além de observarem maior produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes na variedades 'OEM' seguido da 'Miúda' foi obtido com níveis de substituição de 75 e 100% de ETo, respectivamente nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro.

O cálcio foi o mineral com maior concentração seguido pelo potássio e magnésio sem diferenças entre cultivares (Tabela 2). Batista et al. (2009) estudaram a nutrição e produtividade de palma 'Gigante' cultivada em três espaçamentos (1,00 x 0,50, 2,00 x 0,25 e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 t.ha⁻¹ ano⁻¹). Aos 600 dias após o plantio foram avaliados os teores de macronutrientes e a produção de massa seca de cladódios.

Os autores supracitados relatam que os espaçamentos influenciaram os teores de N, K, Ca e S nos cladódios da palma forrageira 'Gigante' havendo interação entre espaçamento e dose para os teores de Mg. O aumento das doses de esterco bovino eleva os teores de P, N, K e S nos cladódios. A máxima produção de massa seca de cladódios é estimada em 21,8 t.ha⁻¹ ano⁻¹ com dose de 71,8 t.ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco. Os espaçamentos das plantas e as doses de esterco de gado independentemente influenciou o conteúdo de nutrientes nos cladódios. O aumento nas doses de estrume de gado no cacto 'Gigante' aumenta o conteúdo de fósforo, nitrogênio, potássio e enxofre nos cladódios. A produção máxima de matéria seca do cladódio é estimado em 21,8 t.ha⁻¹ ano⁻¹ com a dose de esterco de 71,8 t. ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 2. Concentração de minerais presentes nos tecidos dos cladódios em genótipos palma forrageira, com base na matéria seca (g.kg⁻¹).

Variedade	Espécie	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	B	Mn	Na	Autores
		(g.kg ⁻¹ de MS)						(mg kg ⁻¹ de MS)						
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	-	6,00	-	-	57,00	17,00	65,00	9,00	26,00	-	62,00	-	Batista et al. (2003)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	-	1,02	8,64	-	21,41	10,13	-	-	2,00	-	-	0,06	Batista et al. (2009)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	-	0,55	20,17	-	26,55	2,97	16,78	9,98	14,75	-	73,80	0,04	Carvalho et al.(2020)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	14,18	0,14	11,68	75,38	44,60	13,54	49,07	5,58	18,07	66,41	348,60	2,64	Ferraz et al. (2020)
Miúda	<i>N. cochenillifera</i>	12,07	5,48	34,41	36,20	61,65	7,25	96,43	3,61	70,99	53,18	130,08	-	Silva (2019)
F-08	<i>O. atropes</i>	12,31	6,67	34,38	40,60	81,79	7,06	106,14	3,69	77,20	65,08	193,43	-	Silva (2019)
Copena-F1	<i>O. ficus-indica</i>	-	0,19	19,00	-	31,00	2,05	49,80	10,5	44,60	-	34,30	0,05	Haliscak et al. (2016)
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	-	5,00	-	-	41,00	13,00	66,00	8,00	22,00	-	86,00	-	Batista et al. (2003)
IPA-20	<i>O. ficus-indica</i>	-	6,00	-	-	48,00	15,00	59,00	9,00	27,00	-	103,00	-	Batista et al. (2003)
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	-	1,25	8,52	-	18,73	8,88	-	-	4,00	-	-	0,05	Batista et al. (2009)
IPA-20	<i>O. ficus-indica</i>	-	1,14	8,00	-	16,76	9,21	-	-	4,00	-	-	0,03	Batista et al. (2009)
IPA-90-92	<i>O. ficus-indica</i>	-	1,44	8,10	-	17,26	7,91	-	-	3,00	-	-	0,05	Batista et al. (2009)
IPA 90-155	<i>O. ficus-indica</i>	-	1,02	7,56	-	17,57	9,01	-	-	8,00	-	-	0,06	Batista et al. (2009)
Ad.1258	<i>O. ficus-indica</i>	-	1,24	10,33	-	21,31	9,40	-	-	3,00	-	-	0,01	Batista et al. (2009)
Algeria	<i>O. ficus-indica</i>	-	1,18	8,49	-	23,11	9,90	-	-	5,00	-	-	0,01	Batista et al. (2009)
Chile	<i>O. ficus-indica</i>	-	1,05	7,82	-	20,67	10,70	-	-	8,00	-	-	0,01	Batista et al. (2009)
IPA-20	<i>O. ficus-indica</i>	20,2	4,30	43,30	51,00	48,60	8,40	86,88	7,35	120,80	-	804,65	-	Dubeux Jr. et al.(2010)
OEA	<i>O. ficus-indica</i>	12,00	7,99	25,81	3,91	48,13	7,07	116,78	6,14	127,69	77,33	131,77	-	Silva (2019)
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	18,70	1,90	18,15	0,70	45,00	2,18	108,10	13,44	22,65	105,4	99,66	29,06	Cavalcante et al. (2014);
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	10,20	0,70	25,90	1,50	17,00	8,00	44,41	11,16	43,42	17,03	314,53	42,47	Silva et al. (2012)390
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	11,90	0,80	25,20	1,90	28,20	13,00	40,30	4,06	63,69	23,4	984,41	50,96	Silva et al. (2012)620
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	0,97	0,07	41,00	0,17	43,40	1,26	1,14	2,11	34,14	30,12	339,27	37,50	1Camelo (2018)
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	1,43	0,11	43,80	0,23	37,90	1,03	2,34	2,49	43,13	26,66	256,328	25,79	2Camelo (2018)
Gigante	<i>O. ficus-indica</i>	1,75	0,12	24,90	0,37	26,00	1,25	-	-	-	-	-	-	Rocha Filho et al. (2012)
OEM	<i>O. ficus-indica</i>	23,80	0,22	16,82	93,44	44,50	23,98	126,1	15,96	26,79	95,32	803,63	3,22	Ferraz et al. (2020)
V-19	<i>O. larreri</i>	13,17	5,21	34,46	4,16	61,68	7,28	108,63	2,60	94,46	53,11	252,54	-	Silva (2019)
OEM	<i>O. stricta</i>	19,79	0,17	28,62	-	10,16	24,90	365,53	7,31	41,53	-	1408,75	-	Azevedo Jr et al.(2019)
OEM	<i>O. stricta</i>	-	0,17	17,00	-	29,00	2,08	59,8	9,30	39,00	-	41,10	0,05	Haliscak et al. (2016)
OEM	<i>O. stricta</i>	1,50	2,50	8,00	-	13,00	4,70	20	12,00	7,80	-	71,10	2,00	Nascimento et al. (2019)
OEM	<i>O. stricta</i>	13,02	4,12	28,20	3,59	56,48	7,17	116,59	5,45	80,33	65,36	285,39	-	Silva (2019)
OEM	<i>O. tuna</i>	-	0,87	24,67	-	29,00	5,42	35,75	10,11	11,56	-	77,87	0,03	Carvalho et al.(2020)

OEM: Orelha de Elefante Mexicana; OEA: Orelha de Elefante Africana; N: *Nopalea*; O: *Opuntia*.

Embora a palma forrageira tenha alto teor de água e seja rica em minerais, saciando a sede dos animais nos períodos mais críticos, seus teores de matéria seca, proteína e fibras são baixos, não sendo recomendado sua aplicação de forma exclusiva na dieta de ruminantes, sendo comum o seu uso como componente parcial de forragens tradicionais (Wanderley et al., 2002; Mahouachi et al., 2012).

Ela tem sido utilizada como um dos principais suplementos alternativos para vacas leiteiras, até mesmo na forma de farelos, como fonte energética (Sá, 2012). Devendo-se atentar à dieta em decorrência da limitação dessa cactácea em atender às necessidades do rebanho, sendo necessária a associação com outras fontes de volumosos e proteína.

Para resultados satisfatórios, o uso da palma deve ser associado à uma fonte protéica, tendo em vista as exigências mínimas de PB dos ruminantes entre 6-7%. As adequadas associações com outros alimentos, como silagem de sorgo e farelo de soja podem surtir efeito positivo (Albuquerque et al., 2002; Geron et al., 2011).

Bispo et al. (2007) diz que a palma associada a alimentos fibrosos é importante para a ruminação normal dos animais, devido ao seu alto coeficiente de digestibilidade, em função do baixo teor de constituintes da parede celular. Neste sentido, Neves et al. (2010) acrescenta que, apesar da forma mais comum ser o fornecimento da palma picada no cocho sem associação com outro alimento, o modo mais correto de fornecimento seria na forma de mistura completa, associando fontes de fibras (silagens e feno) e proteína, proporcionando o adequado consumo dos nutrientes, sem comprometer o desempenho dos animais e a produção de leite.

De acordo com Cândido et al. (2013) na forma desidratada, a palma é um excelente concentrado energético, capaz de suprir a exigência de energia dos rebanhos durante a seca, mantendo os animais em boa condição corporal, podendo contribuir para ganhos razoáveis, porém deve ser fornecida uma dieta equilibrada para sanar seus baixos teores de proteína e carboidratos fibrosos.

Lima et al. (2003) em avaliação do desempenho de vacas leiteiras mestiças alimentadas com diferentes níveis de substituição do milho por palma (cv. Miúda e Gigante), observaram que o aumento do teor de palma nas dietas dos animais, proporcionava redução na procura e ingestão de água, sem alterar a produção de leite que também foi avaliada no experimento.

Bispo et al. (2010) dizem que a palma associada a grãos, eleva a palatabilidade e a ingestão, favorecendo o aproveitamento dos nutrientes. Devido ao seu elevado teor energético

e boa palatabilidade para os animais, a palma apresenta digestibilidade similar a do milho sendo uma boa alternativa para substituí-lo.

Em trabalho realizado por Araújo et al. (2004) foi avaliado diferentes níveis de substituição de milho por palma na dieta de vacas leiteiras, não foram observadas diferenças significativas no consumo de matéria seca, de fibra em detergente ácido, de matéria orgânica, de proteína bruta, de extrato etéreo e de carboidratos totais.

Em estudo realizado por Gouveia et al. (2016) os autores observaram que a substituição do milho pela palma de até 54% não ocasionou mudanças na produção e composição do leite, ingestão de nutrientes, digestibilidade das dietas e comportamento ingestivo de cabras leiteiras, também foi verificado menor custo da ração com palma, em razão do custo do kg de MS da palma ser menor que o kg de MS do milho. Sobretudo em muitas regiões do Nordeste, onde boa parte dos alimentos concentrados são trazidos de áreas produtoras de grãos e distantes dos pontos de produção animal o que torna os gastos com o transporte onerosos.

Apesar dos teores baixos de MS, a palma forrageira tem boa digestão ruminal, por ser um alimento rico em carboidratos estruturais, tendo a MS degradada de forma mais extensa, aumentando a taxa de passagem e como consequência melhorando o consumo de concentrados. Aguiar et al. (2015) avaliaram o desempenho de novilhas mestiças leiteiras alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira (0, 200, 400 e 600 g/kg MS) e silagem de sorgo como volumoso e observaram maior peso corporal (266,57 kg) e ganho médio diário dos animais, não houve diferença para a conversão alimentar, concluíram que a palma forrageira deve ser utilizada na dieta ao nível de 400 g.kg⁻¹ de MS quando se espera um ganho médio de 780 g dia⁻¹ para novilhas mestiças.

A palma OEM pode ser armazenada por até 21 dias, mantendo seu valor nutricional constante e sua aceitabilidade pelas novilhas. Silva et al. (2017) estudaram o valor nutricional desta espécie armazenada por diferentes períodos, e sua aceitabilidade por novilhas Girolando, os tratamentos foram: palma OEM, sem armazenamento; OEM armazenada por 03 períodos pós-colheita – 7, 14 e 21 dias; e palma-miúda (PM) sem armazenamento, como tratamento controle, as dietas oferecidas aos animais foram compostas de palmas dos diferentes tratamentos, assim como silagem de cana-de-açúcar e farelo de soja, e foram avaliadas quanto à composição químico-bromatológica, consumo e digestibilidade dos nutrientes, foi observado que a palma OEM não diferiu da PM quanto à MO, PB, FDN_{cp}, CNF, CT, EE e MM; mas diferiu quanto à MS e à FDN_i, quando

armazenada por diferentes períodos e que o peso das novilhas variou em 1,35 kg, com a baixa inclusão de concentrado na dieta.

Suas diversas formas de fornecimento incluem o sistema de pastejo ou fatiada, fresca no comedouro, na forma de silagem, como componente de dieta completa, com feno, restolho de sorgo, de milho, de feijão ou mesmo capim seco (Oliveira et al., 2011; Marques et al., 2017). Wanderley et al. (2012) avaliaram a digestibilidade e desempenho de ovinos alimentados com palma, associada com silagens e fenos de origem diversas, e não observaram alterações importantes relacionadas à digestibilidade das diferentes dietas com palma associadas a outras fontes de volumosos e ressaltaram o uso da palma como excelente fonte alimentar para os animais.

Estudos têm apontado o uso da palma forrageira na forma de silagem. Nogueira et al. (2016) discute que mesmo que a palma apresente baixo teor de MS e elevados teores de açúcares tendenciando à fermentação alcoólica, a presença dos ácidos orgânicos, oxálico, málico, cítrico, malônico, succínico e tartárico, presentes nos cladódios, agem como tamponantes, podendo controlar a presença e atividade de leveduras, conduzindo à fermentação láctica, reduzindo assim, as perdas durante a ensilagem.

Monção et al. (2020) avaliaram a inclusão da *Nopalea cochenillifera* cv. Ipa Sertânia na ensilagem de *Pennisetum purpureum*, capim-elefante Brasil (BRS) capiaçu, e seus efeitos nas características fermentativas; e valor nutricional. A silagem de capiaçu BRS consistia em cinco níveis de inclusão de palma forrageira (0, 5, 10, 15 e 20% de inclusão como base na matéria verde) e ressaltaram que a inclusão da palma forrageira na silagem de capiaçu BRS não alterou o pH(3,8) da massa ensilada, nem o teor de cinzas, CT, NDT, PIDN e EE, sendo as médias de 8,01%; 2,53%; 3,14%; 11,74%; 80,88% e 44,69%, respectivamente. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca e da fibra em detergente neutro aumentou linearmente com a inclusão da palma forrageira, concluindo que a inclusão de até 5% de palma forrageira na silagem de capiaçu BRS melhora as características de fermentação e o valor nutricional da silagem.

Gusha et al. (2013) avaliando a composição nutricional e a aceitabilidade de silagem mista de palma forrageira em associação com feno de leguminosa oferecida aos animais durante a estação seca do ano na Turquia, os autores observaram que as silagens tiveram bom padrão de fermentação, com valores de pH entre 3,97 a 4,11 e teores de MS entre 37 a 43%. Os autores concluíram que todas as silagens foram aceitas de maneira satisfatória pelos animais (ovinos e bovinos), demonstrando a versatilidade da palma forrageira, como fonte de

alimento alternativo na forma de silagem sem efeitos laxativos, associada a uma fonte de fibra efetiva, evitando distúrbios.

Em trabalho realizado por Nogueira et al. (2015) com silagem de palma adicionada com farelo de trigo enriquecido com ureia, os autores encontraram valores de 19,35% e 18,81% de MS sem e com a adição de 1% de uréia. Os valores de pH da silagem foram próximos aos recomendados na literatura 3,74 a 3,86, com valores de ácido láctico próximos aos observados em silagens de milho, entre 3,8 e 4,2.

Gusha et al. (2015) avaliando os parâmetros ruminais de ovinos suplementados com silagem na forma de ração à base de palma (70%) e leguminosa (30%), observaram que as silagens obtiveram valores de pH entre 4,1 a 4,2 e Verificaram também que os animais alimentados com silagens à base de palma e leguminosa apresentaram maior síntese microbiana, maior digestibilidade parcial além de maiores concentrações de AGVs quando comparado ao tratamento controle.

Moura et al. (2020) utilizaram 32 cordeiros machos, com peso corporal médio de $20,8 \pm 2,9$ kg, alimentados com diferentes níveis de PF Doce em substituição a 0, 33, 66 ou 100% de feno de maniçoba (ou seja, 0, 200, 400, 600 g kg⁻¹ de MS) e concluíram que a substituição de 33% do feno de maniçoba por palma forrageira pode ser recomendada como nível ótimo, pois melhora a engorda da carcaça, mantendo o desempenho e a qualidade da carne.

NRC, (2001), diz que a nutrição é responsável por até 50% da variação do leite quanto aos teores de proteína e gordura. Nesse sentido, é comum a utilização da palma forrageira na dieta de vaca leiteira na região semiárida, o que pode interferir na qualidade do leite, o teor de gordura do leite pode ser alterado devido à fermentação ruminal com baixo teor de fibra alimentar, com queda do pH e alteração da relação acetato: propionato.

Devido a essa preocupação Soares et al.(2020) avaliaram a composição química e gordurosa do perfil ácido do leite a partir de combinações de dietas com palma forrageira e outras forragens para vacas F1 (Holandês x Zebu), a proporção volumoso: concentrado das dietas foram de 75:25, as dieta eram: 1-Silagem de sorgo como único volumoso; 2- Silagem de sorgo combinada com palma forrageira na proporção de 50% de o volumoso (base da matéria seca); 3- Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Roxo) como único volumoso; e 4- Capim elefante combinado com palma forrageira em uma proporção de 50% do volumoso. E concluíram que o ácido linoléico conjugado foi maior no leite de vacas alimentadas com palma forrageira do que nas demais vacas e que a combinação de palma forrageira em até

37,5% do total dieta com silagem de sorgo ou com capim elefante não causa mudança na composição química do leite.

Os autores supracitados relatam que dietas contendo palma forrageira podem fornecer níveis de energia adequados para a síntese de proteína microbiana, proteína metabolizável, e a síntese de proteína do leite. As mudanças na microbiota ruminal, podem alterar seus derivados e conseqüentemente o produto final. Pois quando se tem maiores quantidades de fibra na dieta, ocorre uma proliferação de bactérias celulolíticas, que contêm maiores quantidades de ácidos graxos iso, já quando a dieta contem maiores quantidades de carboidratos não fibrosos, os fermentadores contêm níveis relativamente altos de ácidos graxos ante-iso, ocasionando baixas concentrações de alguns ácidos graxos iso no leite de vacas alimentadas com dietas a base de cactáceas devido às proporções mais baixas de fibra e maiores proporções de carboidratos não fibrosos nestes dietas.

Como descrito, a palma é uma boa opção a ser inserida como ingrediente na alimentação animal da região de savana brasileira, por apresentar uma elevada produção por ha⁻¹, elevada concentração de macro e microminerais essenciais ao metabolismo animal, sendo fonte de boa qualidade nutricional, além de adaptada às condições locais.

1.9. Contribuições socioeconômicas do cultivo da palma

No Brasil e no mundo a cactácea com maior importância econômica é palma forrageira, pelas suas inúmeras utilizações, tais como: produção de energia, ornamentação, cercas vivas, paisagismo, medicina tradicional, indústria química e alimentícia, usos místico-culturais, e produtos diversos, produção de cosméticos, produção de corante de carmim, controle da erosão e conservação do solo (Silva, 2019).

Apesar de todas essas utilidades, neste país se destaca como forragem, na alimentação animal, principalmente na época seca (Alves et al., 2016). Ferraz (2013) relata que a palma forrageira passou a ser cultivada de forma mais intensa no Nordeste brasileiro devido às suas características morfofisiológicas que a tornam adaptada às condições da região.

Dubeux Jr. et al. (2010) consideram a palma forrageira uma das alternativas mais viáveis para manutenção dos níveis de produção animal em regiões com limitação hídrica. Chiacchio et al. (2006); Pinto et al. (2019) relatam que é indiscutível o potencial da palma forrageira para o desenvolvimento das zonas áridas e semiáridas, principalmente nos países em desenvolvimento, onde a exploração racional e econômica das suas espécies ajudará não só a conservar o meio ambiente, mas a manter a segurança alimentar dos rebanhos. Podendo

contribuir de maneira positiva e ser viável economicamente em pequenas e médias propriedades, principalmente na alimentação de rebanhos.

Com o uso de apropriadas tecnologias, como manejo de cortes, espaçamento, adubação e suplementação hídrica, quando necessário, é possível o cultivo sustentável dessa forrageira (Galindo et al., 2005). Dantas et al. (2017) confirmaram, em estudo detalhado, a viabilidade econômica da produção da palma forrageira irrigada e adensada, utilizando técnicas de engenharia econômico-financeira para avaliar a viabilidade de projeto envolvendo o cultivo dessa forrageira.

Neves et al. (2017) avaliaram a produção, produtividade e viabilidade de implantação de áreas de cultivo da palma forrageira Gigante e Miúda em diferentes espaçamentos em pequenas propriedades rurais no Espírito Santo, e constataram que no sistema convencional, a palma miúda produziu 196.422 kg.ha⁻¹ de MV com armazenamento aproximado de 177 m³ de água ha⁻¹, 19.642 kg.ha⁻¹ de MS o que representa (5,56%) e um número de raquetes de 537.000 com massa média de 0,37 kg, no sistema adensado a palma miúda pode alcançar produção de 463.346 kg.ha⁻¹ de MV e 46.335 kg.ha⁻¹ de MS, acúmulo de 417 m³ de água ha⁻¹ um potencial que dá para produzir mais de 1.446.338 mudas com massa aproximada de 0,32 kg. Considerou-se a palma forrageira viável tanto nos aspectos técnicos e produtivos, quanto financeiros em pequenas propriedades rurais.

A palma forrageira possui consideráveis teores de carboidratos não fibrosos e elevado conteúdo energético quando comparada com outras forrageiras. Vale destacar que em 2017, ela apresentava o custo de US\$ 0,13 kg⁻¹ de MS para o produtor, sendo menor, quando comparado a outras forrageiras como silagem de milho e feno de Tifton, que custava US\$ 0,27 kg⁻¹ MS (Siqueira et al., 2017).

Silva et al. (2019) avaliando a viabilidade econômica da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em substituição parcial a cana-de-açúcar, nos níveis de: 0%, 11,5%, 24,5% e 34,5% na alimentação de vacas leiteiras, observaram que a dieta a base de 34,5% de MS da palma forrageira obteve, ao final, um lucro de R\$ 0,38 a mais do que a dieta sem palma. Dessa forma, concluíram que a produtividade das vacas não foi influenciada de maneira negativa com a inclusão da palma forrageira nas diferentes dietas submetidas, além de ser uma alternativa viável para reduzir as perdas da produção de leite em épocas de estiagem.

Além da utilização pelos animais a palma forrageira fornecer pode fornecer suas raquetes para expansão de novas áreas. Nesse sentido, Cruz Neto et al. (2017) avaliaram a aplicação de indicadores agrometeorológicos de eficiência do uso da água para a palma

‘Miúda’, e a contribuição do incremento de água em sistemas de produção desta no semiárido com dois regimes hídricos, 756 mm.ano^{-1} e 493 mm.ano^{-1} .

A produtividade econômica da água foi avaliada assumindo a venda dos cladódios para alimentação animal e como “semente” e relataram que apesar de não ter tido efeito da redução da disponibilidade de água sobre o crescimento, na produtividade e nos indicadores agrometeorológicos, houve um aumento em 42% e 22% na produção de massa verde e seca da cultura, respectivamente. Em termos de eficiência do uso da água, esta espécie apresentou produção de massa fresca e verde de $59,27 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e $7,25 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, respectivamente, resultando retorno econômico maior na produção de cladódios para “semente” ($85,73 \text{ R$. ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$). Os valores produtividade da água de irrigação para a produção de massa fresca e seca foi de $50,64 \text{ kg. ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e de $2,29 \text{ kg. ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, respectivamente e concluíram que a produção de cladódios, com o uso de irrigação, para a venda como “semente” parece uma ótima alternativa para os produtores locais, quando comparado com a venda para a alimentação animal e que indicadores agrometeorológicos de eficiência do uso da água podem ser utilizados na avaliação do desempenho da cultura da palma forrageira.

Nesse contexto, as contribuições socioeconômicas do uso da palma forrageira podem dinamizar a produtividade e consequentemente melhorar os rendimentos na produção rural. Estudos sobre respostas agronômicas da palma forrageira na região do Cerrado ainda são escassos. De maneira geral, Cunha et al. (2012) discorre que a ausência de informações concretas induz os produtores a fazerem recomendações com base na vivência diária, gerando respostas insatisfatórias e de pouco crédito na adoção de novas tecnologias. Estas proporcionam desempenho, qualidade e redução de desperdício gerando resultados satisfatórios que se resumem na melhoria da eficiência de produção.

2. Considerações finais

Diante da sua eficiência na utilização dos recursos naturais oferecidos pela região Semiárida, a palma forrageira é uma excelente alternativa para alimentação animal, pois em sua composição contém água e nutrientes que são essenciais aos mesmos, com a ressalva de que a mesma deve ser fornecida junto a fontes de fibras e proteína. Na região de Cerrado a palma forrageira pode fazer parte da dieta animal como mais uma opção de alimento, pois a mesma apresenta uma boa composição química e mineral que pode somar na qualidade final do produto, seja: carne, leite, ovos.

É importante que haja um zoneamento de locais adequados para o plantio dessa cultura, pois apesar do seu metabolismo especializado, em locais que em determinados meses

a umidade do ar é baixa principalmente a noite, a palma deve ser suplementada com quantidades ínfimas de água para a sobrevivência naquele período além de incentivar a planta ao aumento na produção de MS por ha⁻¹.

A produção de palma no Cerrado ainda é restrita, a algumas regiões, essa cultura ainda não faz parte da realidade local, as pesquisas sobre esta cultura estão surgindo, o que deve colaborar com a inclusão da mesma, pois apresenta uma boa opção para solos bem drenados, é resistente e adaptada ao clima da região. Contudo, devem-se providenciar meios para que essa cultura apresente o máximo desenvolvimento, sendo que as maiores produções são obtidas em cultivos adensados e adubados adequadamente.

3. Referências

- Ab'Saber; Aziz N. Os Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê, 2003.
- Aguiar, M. S. M. A.; Silva, F. F.; Donato, R. L. R.; Rodrigues, E. S. O.; Costa, L. T.; Mateus, R. G.; Souza, D. R.; Silva, V. L. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: desempenho e viabilidade econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 1013-1030, 2015.
- Ajay, O.; Maynard, D. N.; Barker, A.V. The effects of potassium on ammonium nutrition of tomato. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 818-821, 1970.
- Albuquerque, S. S. C.; Lira, M. A.; Santos, M. D.; Dubeux Jr, J. C. B.; Melo, J. N.; Santos, D. C.; E Farias, I. Utilização de três fontes de nitrogênio associadas à palma forrageira (*Opuntia ficus indica*, Mill.) cv. Gigante na suplementação de vacas leiteiras mantidas em pasto diferido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n.31, v3, p.1315-1324, 2002.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. In: FAO Irrigation and drainage paper. FAO, v.300, n.9, p. 1-297, 1998.
- Almeida, J.; Peixoto, C.P; Ledo, C.A.S. Desempenho vegetativo da palma forrageira. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 571-581.2012.
- Alves, F. A. L.; de Andrade, A. P.; Bruno, R. D. L. A.; dos Santos, D. C. Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia and Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n. 31, p. 2882-2892, 2016.
- Andrade, A.C.; Foncesa, D.M.; Gomide, J. A.; Alvarez, V. H.; Martins, C. E. M.; Souza, D.P.H.S. Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1589-1595, 2000.
- Araújo, L. D. F., Silva, F. D., Brito, E. A., Oliveira Júnior, S., & Santos, E. S. Enriquecimento protéico da palma forrageira com *Saccharomyces cerevisiae* para alimentação de ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.2, p.401-407, 2008.
- Araújo, L. F.; Oliveira, L. S. C.; Perazzo Neto, A.; Alsina, O. L. S.; Silva, F. L. H. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: Relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.
- Araújo, P. R. B.; Ferreira, M. A.; Brasil, L. H. A.; Santos, D. C.; Lima, R. M. B.; Veras, A. S. C.; Santos, M. V. F.; Bispo, S. V., Rezende, M. Substituição do milho por palma forrageira em dietas completas para vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1850-1857, 2004.
- Azevedo Júnior, M. S.; Ferreira Neto, M.; Medeiros, J. F.; Sá, F. V. S.; Lima, Y. B.; Lemos, M. Produtividade e teor de nutrientes em palma forrageira irrigada com efluente de esgoto doméstico. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 830-842, 2019. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2019v24n4p830-842>.

Baligar, V.C.; Bennett, O.L. Perspectivas sobre a eficiência do uso de fertilizantes nos trópicos. **Fertilizer Research**, v.10, n.1, p.83-96, 1986.

Barros, J. L.; Donato, S. L. R.; Gomes, V. M.; Donato, P. E. R.; Silva, J. A.; Padilha Júnior, M. C. 2016. Palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, n.7, v.1, p.53-65, 2016.

Batista, A. M. V.; Mustafa, A. F.; Mcallister, T.; Wang, Y.; Soita, H.; Mckinnon, J. J. Effects of variety on chemical composition, in situ nutrient disappearance and in vitro gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 5, p. 440-445, 2003. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1393>.

Batista, Â. M.; Ribeiro Neto, A. C.; Lucena, R. B., Santos, D. C.; Dubeux Jr, J.; Mustafa, A. F. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. **Rangeland Ecology e Management**, v.62, p.297-301, 2009.

Bispo, S. V.; Ferreira, M. A.; Veras, A. S. C.; Batista, A. M. V.; Pessoa, R. A. S.; Bleuel, M. P. 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, 2007.

Bispo, S. V.; Ferreira, M. D. A.; Vêras, A. S. C.; Modesto, E. C.; Guimarães, A. V.; Pessoa, R. A. S. Comportamento ingestivo de vacas em lactação e de ovinos alimentados com dietas contendo palma forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, p.2024-2031, 2010.

Bravo Filho, E. S.; Santana, M. C.; Santos, P. A. A.; Ribeiro, A. S. Levantamento etnobotânico da família Cactaceae no estado de Sergipe. **Revista Fitos**, v. 12, n. 1, p. 41-53, 2018.

Bredemeier, Christian; Mundstock, Claudio Mario. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, p. 365-372, 2000.

Bull, L.T. Nutrição mineral do milho. In: Bull, L.T.; Cantarella, H. (Ed.). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1993. p. 63-145, 1993.

Camelo, T. C. Produtividade e aporte de nutrientes em palma forrageira ‘gigante’ irrigada com água residuária. **Dissertação** (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Guanabi, p.36, 2018. www.ifbaiano.edu.br/unidades/guanambi/files/2019/04/Thais-Carvalho-Camelo.pdf

Campos, J. O.; Chaves, H.M.L. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 157-169, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351019>.

Cândido, M. J. D.; Gomes, G. M. F.; Lopes, M. N.; Ximenes, L. J. F. Cultivo da palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. **Informe Rural Etene**, n.7,v.3, p.1-7, 2013.

Cardoso, D. B.; Carvalho, F. F. R.; Medeiros, G. R.; Guim, A.; Cabral, A. M.D.; Vêras, R. M. L.; Santos, K. C.; Dantas, L. C. N.; Nascimento, A. G. O. Levels of inclusion of spineless

cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, p. 23-31, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.016>

Carvalho, C. B. D. M.; Loiola Edvan, R., Nascimento, K. D. S., Nascimento, R. R. D., Bezerra, L. R., Jácome, D. L. D. S.; Santana Júnior, H. A. D. Methods of storing cactus pear genotypes for animal feeding. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 37, n. 2, p. 173-179, 2020.

Carvalho, C. B. M.; Edvan, R. L.; Carvalho, M. L. A. M.; Reis, A. L. A.; Nascimento, R. R. Uso de cactáceas na alimentação animal e seu armazenamento após colheita. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n.259, p. 440-446, 2018.

Castro, I. N.; dos Santos, S. R.; Kondo, M. K.; Maia, V. M.; dos Santos, C. C. R. Desempenho agrônômico e eficiência de uso da água em cultivares de palma forrageira irrigada. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 529-540, 2020.

Cavalcante, L. A. D.; Santos, G. R. A.; Silva, L. M.; Fagundes, J. L.; Silva, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424 - 433, 2014.

Chiacchio, F. P. B.; Mesquita, A. S.; Santos, J. R dos. Palma Forrageira: uma Oportunidade Econômica ainda Desperdiçada para o Semiárido Baiano. **Bahia Agrícola**. v.7, n.3, p. 39-49, 2006.

Costa, K.A.P.; Faquin, V.; Oliveira, I.P. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.1, p.192-199, 2010.

Costa, L.; Zucareli, C.; Riede, C. R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.215-224, 2013.

Cruz Neto, J. F.; Morais, J. E. F.; Souza, C. A. A.; Carvalho, H. F. de S.; Rodrigues, C. T. A. Applicability of agrometeorological indicators for analysis of water increment for irrigation in production systems of cactus forage, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 02, n. 02, p.98-106, 2017.

Cunha, D. N. F. V.; Gomes, E. S.; Martuscello, J. A.; Amorim, P. L.; Silva, R. C.; Ferreira, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.4, p.1156-1165, 2012.

Daliparthi, J.; Barker, A.V.; Mondal, S.S. Potassium fractions with other nutrients in crops: A review focusing on the Tropics. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, p. 1859-1886, 1994.

Dantas, S. F. A.; Lima, G. F. C.; Mota, E. P. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido potiguar. **Revista IPECEGE**, v. 3, n. 1, p. 59-74, 2017.

De Kock, GC, Mondragon-Jacobo, C., Perez-Gonzalez, S., Arias, E., Reynolds, SG, & Sanchez, MD. O uso de Opuntia como fonte de forragem em áreas áridas da África Austral. FAO, Rome, Italy. Plant Production and Protection Div. eng;Mondragon-Jacobo, C. (ed.); Perez-Gonzalez, S. (ed.); et al. 2001.

Dibb, D. W.; Thompson JR, W. R. Interaction of potassium with other nutrients. **Potassium in agriculture**, p. 515-533, 1985.

Dibb, D.W.; Welch, L.F. Corn growth as affected by ammonium vs. nitrate absorbed from soil. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 89-94, 1976.

Dodd, A. N.; Borland, A. M.; Haslam, R. P.; Griffiths, H.; Maxwell, K. Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic. **Journal of experimental botany**, n. 53, p. 1-12, 2002.

Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Santos, D. C.; Farias, I.; Lima, L. E. and Ferreira, R. L. C. 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica*(L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in North-east Brazil. **Journal of Arid Environments** v.67, p.357-372, 2006.

Dubeux Júnior, J.C.B.; Araujo Filho, T.T.; Santos, M.V.F; Lira, M. D. A.; Santos, D. C.; Pessoa. 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, 2010.

Epstein, E.; Bloom, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Editora Planta, p. 169-236, 2006.

Falcão, H. M.; Oliveira, M. T.; Mergulhão, A. C.; Silva, M. V.; Santos, M. G. Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. **Scientia Horticulturae**, n.150, p.419-424. 2013.

FAO -Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. SEBRAE, 2001.

Farias, I. ; Santos, D. C. dos; Dubeux Junior, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (Ed.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 81-104. 2005.

Fernandes, F. C. S.; Buzetti, S.; Orivaldo A. R. F.; Andrade, J. A. D. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 02, 2005.

Ferraz, R. L. D. S.; Dantas Neto, J.; Costa, P. D. S.; Lima, A. S. D.; Silva, P. F. D.; Matos, R. M. D.; Melo, A. S. D. Variations in soil water replacement levels promote changes in cactus pear mineral composition and biomass productivity. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, n. 5, p. 1-17, 2020. <https://doi.10.4136/ambi-água.2537>.

Ferreira, M. D. A., Silva, F. M. D., Bispo, S. V., & Azevedo, M. D. Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, suplemento especial, p. 322-329, 2009.

Galindo, I. C. L.; Sampaio, E. V. S. B.; Menezes, R. S. C. Uso da palma na conservação dos solos. In: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (Ed.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Editora Universitária da UFPE, p.163-176, 2005.

Geron, L. J. V.; Zeoula, L. M.; Paula, E. J. H.; Ruppim, R. F.; Rodrigues, D. N.; E Moura, D. C. Inclusão do caroço de algodão em rações de alto concentrado constituído de co-produtos agroindustriais sobre o desempenho animal em tourinhos confinados. **Archives of Veterinary Science**, n. 16, v.3, p.14-24, 2011.

Gomes, G. M. F.; Cândido, M. J. D.; Lopes, M. N.; Maranhão, T. D.; de Andrade, D. R.; Costa, J. F. M.; Neiva, J. N. M. Composição química de cladódios de palma forrageira sob diferentes manejos de adubação e colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.2, p. 221-228, 2018.

Gouveia, L.N.F.; Soares, P.C.; Moura, M.S.C; da Silva, T.G.P.; da Silva Neto, I. F; de Araújo Guimarães, D.N; de Carvalho, F.F.R. **Metabolic profile and renal function of lambs fed with manihoba hay replacement by spineless cactus**. Revista Agrária Acadêmica. v.2, n.4, p.41.51. 2019. doi: 10.32406/v2n42019/41 51/agrariacad.

Goveia, J. S. S., de Oliveira, V. S., Arruda Santos, G. R., Melo, K. D. A., de Oliveira, A. G., Melo, M. V. A. Partial replacement of corn by cactus pear in the diets of lactating goats. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, n. 2, p. 969-976, 2016.

Guelfi, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas**, v. 157, p. 1-14, 2017

Guimarães, A. S.; Leite, M.S.; Torres, S. B. Potencial da palma forrageira para o Norte de Minas Gerais. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 4 p, 2013.

Gusha, J.; Halimani, T. E.; Ngongoni, N. T.; Ncube. Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. **Animal Feed Science and Technology**, v.206, p.1-7, 2015.

Gusha, J.; Ngongoni, N.T.; Halimani, TE Composição nutricional e degradabilidade efetiva de quatro forrageiras cultivadas para suplementação protéica. **Journal of Animal Feed Research**, v. 3, n.4, p.170-175, 2013.

Haliscak J. A. S.; Kawas, J. R.; Fimbres-Durazo, H.; Moreno-Degollado, G.; Vázquez-Alvarado, R. E.; Olivares-Sáenz, E.; Andrade-Montemayor, H. Effects of compost level in soil and season on the production and composition of cactus varieties. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 18, p. 52-64, 2016.

Heathcote, R. C. Fertilization with potassium in the Savanna zone of Nigeria. Bern: Potash and Phosphate Institute, p. 71-77, 1972.

Hernández-Urbiola, M. I.; Contreras-Padilla, M.; Pérez-Torrero, E.; Hernández-Quevedo G.; Rojas-Molina, J. I.; Cortes, M. E; Rodríguez-García, M. E. Study of Nutritional Composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv . Redonda) at Different Maturity Stages. **The Open Nutricional Journal**, v.4, p11-16, 2010.

Hoffmann, W. Etnobotânica. In: Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira.Roma: **FAO, Produção e Proteção Vegetal**, Tradução (SEBRAE/PB), Paper 132, p.12-14, 1995.

IBGE - Censo Agropecuário/Tabela 6965 - SIDRA – IBGE. Número de estabelecimentos agropecuários com lavouras temporárias. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6965>. Acesso em 03.01.2021

Inglese, P.; Mondragon, C.; Nefzaoui, A.; Saenz, C. **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017.

Jardim; A. M. R. F.; Silva; T. G. F.; Souza; L. S. B.; Alves; H; K; M; N.; Araújo; J. F. N.; Silva; G. I. N.; Silva, J. O. N. Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. **Agrometeoros**, v.27, n.2, p.357-365, 2019.

Kano, C.; Cardoso, A.I.I.; Villas Bôas, R.L. Influencia de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v.28, p.287-291, 2010.

Lara Cabezas, W. A. R.; Trivelini, P. C. CO.; Kondorfer, G. H.; Pereira, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 363-376, 2000.

Leite, J. R. A.; Sales, E. C. J. D.; Monção, F. P.; Guimarães, A. D. S.; Rigueira, J. P. S.; Gomes, V. M. Nopalea cactus pear fertilized with nitrogen: morphometric, productive and nutritional characteristics. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.40, 2018. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.38325>

Leite, M. L. M. V.; Silva, D. S.; Andrade, A. P.; Pereira, W. E.; Ramos, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

Lemes, K. C.; Lemes, C. C.; Ferreira, F. R.; Paula, J. S.; Matos, P. F. A Modernização da Agricultura e os Impactos Socio espaciais. **Revista Mirante**, v. 01, n. 02, 2008.

Liberato, P. M.; Aviguera, L. A. Aprovechamiento integral y sostenible de la tuna y otras plantas suculentas. Universidad de Guadalajara. p.10, 2006.

Lima, A. S.; Silva, P. F.; Matos, R. M.; Bonou, S. I.; Dantas Neto, J. Determinação da área de cladódios e fator de correção da palma forrageira sob fertirrigação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.1, p. 3803-3815, 2020.

Lima, B. S. L. (2017). Caracterização Forrageira de Três Variedades de Palma Cultivadas com Doses de Fósforo no Sul do Piauí.

Lima, B. S. L.; Edvan, R. L.; Marques, C. A. T.; da Costa Torreão, J. N.; de Araújo, M. J.; Mota, R. R. M.; da Silveira Alves. Phosphorus effect on the production and nutritional value of cactus genotypes in a region of semi-arid climate. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 23, p. 26-42, 2021.

Lima, G. F. C.; Rêgo, M. M. T; Silva, J. G. M.; Dantas, F. D. G.; Lobo, R. N. B.; Aguiar, E. M. **Situación actual de las técnicas de producción de nopal forrajero en Brasil: avances y limitaciones**. In: MONDRAGÓNJACOBO, C.(Ed). Simpósio Internacional Tuna Nopal. 1. 2013. Puebla: Resumos. Sagarpa, p.94-105, 2013.

Lima, G. F. C.; Silva, J. G. M.; Aguiar, E. M.; Teles, M. M. Reservas forrageiras estratégicas para a pecuária familiar no semiárido: palma, fenos e silagem. Natal: Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, p.52 , 2010.

Lima, R. M. B.; Andrade Ferreira, M.; Albuquerque Brasil, L. H.; Araújo, P. R. B.; Verás, A. S. C.; dos Santos, D. C.; Souza, I. S. Substituição do milho por palma forrageira: comportamento ingestivo de vacas mestiças em lactação. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 25, n. 2, p. 347-353, 2003.

Lopes M. N.; Cândido M. J. D.; Gomes E. C. G.; Pompeu, R.C.F. F.; Silva R. G. Biomass flow and water efficiency of cactus pear under different managements in the Brazilian Semiarid. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 324-333, 2018.

Lopes, A. S. Manual internacional de fertilidade do solo -ed., rev. e ampl. – Piracicaba : Potafos, p.177. 1998.

Macleod, L. B. Effects of N, P and K and their interactions on the yield and kernel weight of barley in hydroponic culture. **Agronomy Journal**, v. 61, p. 26-29. 1969.

Mahouachi, M.; Atti, N.; Hajji, H. 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**, v. 2012, 2012.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, P.638. 2006.

MapBiomias. Disponível em: < <https://mapbiomas.org/>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2021.

Mar, G. D; Marchetti, M. E.; Souza L. C. F.; Gonçalves, M. C.; Novelino J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantina**, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003.

Marques, O. F. C.; Gomes, L. S. P.; Mourthé, M. H. F.; Braz, T. G. S.; Pires Neto, O. S. 2017. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrarias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

Martinelli, G.; Messina, T.; Filho, T. M. L. S. Livro vermelho da flora do Brasil - Plantas raras do Cerrado. [S.l: s.n.], 2014.

Matos, S. F.; Borges, L. S.; Amaro, C. L.; Oliveira, D. B.; Carmo, M. S.; Torres Júnior, H. D. **Folha seca: introdução à fisiologia vegetal**. 1.ed. - Curitiba: Appris, p.189. 2019.

Melo, A. A. S; Ferreira, M.A.; Verás, A. S.C.; Lira, M.A.; Lima, L.E.; Viela, M.S.; Melo, E.O.S; Araújo, P.R.B. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n.3, p. 727-736, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000300025>

Menezes, R. S. C.; Simes, D. A.; Sampaio, E. V. S. B.(eds). A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005.

Mengel, K.; Kirkby, E. A. Principles of plant nutrition. London: Kluwer Academic, 849 p, 2001.

Ministério Do Meio Ambiente. Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado- PP -Cerrado. 152p. 2009.

Monção, F. P.; Rocha Júnior, V. R.; Silva, J. T.; De Jesus, N. G.; Marques, O. F. C.; Rigueira, J. P. S.; Leal, D. B. Nutritional Value of BRS Capiçu Grass (*Pennisetum purpureum*) silage associated with cactus pear. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, v. 10, n. 1, p. 25-29, 2020.

Monteiro, F. A.; Lima, S. A. A.; Werner, J. C. Adubação potássica em leguminosas e em capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Boletim de Indústria Animal**, v. 37, n. 1, p. 127-147, 1980.

Moraes, A. C. A. Valor nutritivo de diferentes variedades de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia.) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, p.69, 2012.

Moreira, A. L., Alves, A. A., Araújo, D. L., Moreira Filho, M. A., Costa, J. V., Azevêdo, D. M.; Alves, F. C. The effect of leucaena hay as a source of effective fibre and nutrients in diets with forage palm for finishing sheep in semi-arid regions. **Animal Science Journal**, v. 92, n. 1, p.1-9, 2021. <https://doi.org/10.1111/asj.13508>

Moura, J. G. Valor nutritivo e características anatômicas de variedades de palma forrageira (*Nopalea sp. e Opuntia sp.*) com diferentes níveis de resistência à cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae Cockerell*). **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, p.97, 2012.

Moura, M. D. S. C.; Guim, A., Batista, Â. M. V., do Vale Maciel, M., Cardoso, D. B., de Lima Júnior, D. M.; de Carvalho, F. F. R. Moura. The inclusion of spineless cactus in the diet of lambs increases fattening of the carcass. **Meat science**, v. 160, p.01-08, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107975>.

Nascimento, S. M. Polímero de alta densidade e adubação foliar em palma orelha de elefante mexicana. **Dissertação** (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, p.88, 2019.

Nascimento, S. M.; Aguiar, E.M.; Lima, G. F. C.; Novaes L. P.; Costa, P. R. C.; Aspectos gerais da palma forrageira e alternativas de manejo: uma associação do hidrogel agrícola e da adubação foliar. **Nutritime Revista Eletrônica**, v.17, n.2, p.8681-8698, 2020.

National Research Council (NRC). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th.ed., National Academic Press, Washington, D.C.2001

Neves, A. L. A.; Pereira, L. G. R.; Santos, R. D. dos; Voltolini, T. V.; Araújo, G. G. L. de; Moraes, S. A. de; Aragão, A. S. L. de; Costa, C. T. F. **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 7 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 62). Disponível em: <

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/885598/1/COT62Andre.pdf> >. Acesso em: 13 fev. 2020.

Neves, F. L.; Spínola, A. M.; Neves, J. D. C.; Queiroz, L. S.; Santos, L. F. V.; Aquino, C. K.; Porto, A.P. Avaliação da produção de palma forrageira gigante e miúda em diferentes espaçamentos, estimativa de produtividade e viabilidade de implantação de áreas de cultivo em pequenas propriedades rurais no ES. **II SICT do Incaper**, 2017.

Nobel, P. S. Environmental biology In: Barbera, G; Inglese, P.; Pimienta-Barrios. **Agroecology, cultivation and uses of cactus pear**. FAO, Rome, p. 36-48, 1995.

Nunes, J. D. S. L.; Silva, T. G. F.; de Souza, L. S. B.; Jardim, A. M. D. R. F., Alves, H. K. M. N., da Cruz Neto, J. F., Pinheiro, A. G. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020.

Oliveira, A. S. C.; Cavalcante Filho, F. N.; do Nascimento Rangel, A. H.; de Paiva Lopes, K. B. A palma forrageira: Alternativa para o semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.3,p.10, 2011.

Oliveira, F. T.; Souto, J. S.; Silva, R. P.; Andrade Filho, F. C.; Pereira Júnior, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde*, v. 5, n. 4, p. 27-37, 2010.

Oliveira, L. S. D. Inclusão da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*, L.) em substituição à palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm–Dyck) na dieta de ovinos (*Bachelor's thesis*, Brasil), 2018.

Padilha Jr, M. C.; Donato, S. L. R.; Silva, J. A.; Donato, P. E. R.; Souza, E. S.. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, n.11, v.1, p.67-72, 2016.

Pan, B.; Lam, S. K.; Mosier, A.; Luo, Y.; Chen, D. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 232, p. 283-289, 2016.

Paulino, R. D. S. Manejo de utilização da palma forrageira sobre a qualidade microbiológica, desempenho e distúrbios nutricionais em ovinos. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, p. 62, 2019.

Pereira, E. F. P.; Lopes, P. S. Q. **Palma – Ouro Verde do Semiárido**. João Pessoa: FAEPA/SENAR/PB, 2011. p.16

Pereira, I. M.; Coneglian, A. Situação e perspectivas da conservação do Cerrado em 2019. **Revista Agrotecnologia**, v.11, n.1, p.16-22, 2020.

Pessoa, D. V.; de Andrade, A. P.; Magalhães, A. L. R.; Teodoro, A. L.; dos Santos, D. C.; de Araújo, G. G. L.; Cardoso, D. B. Cactus pear of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: nutritional value. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2020.

Pessoa, R. A. S.; Leão, M. I.; Ferreira, M. D. A.; Valadares Filho, S. D. C.; Valadares, R. F. D.; Queiroz, A. C. D. Balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira, bagaço de cana-de-açúcar e ureia associados a diferentes suplementos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n.38, v.5, p. 941-947, 2009.

Pessôa, V.L.S. Ação do estado e as transformações agrárias no Cerrado das zonas de Paracatu e Alto Paranaíba. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, p. 239, 1988.

Petter, F. A.; da Silva, J. A.; Pacheco, L. P.; Almeida, F. A.; Alcântara Neto, F.; Zuffo, A. M.; de Lima, L. B. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 3, p. 190-196, 2012.

Pimenta, B.E.; Barbara, G. ; Inglese, P.1993. Cactus pear (*Opuntia spp.* Cactaceae) International Network: An effort for productivity and environmental conservation for arid and semiarid lands. **Cactus and Succulent Journal**. 65: p.225-229.1993.

Pimentel, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Seropédica: Edur, p.150, 1998.

Pupo, N. I. H. Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979.

Raij, V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ceres; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.343, 1991.

Ramos, J. P. F.; Sousa, W. H. D.; Oliveira, J. S.; Pimenta Filho, E. C.; Santos, E. M.; Leite R. M.; Oresca, D. Forage sources in diets for dairy goats. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, 2020..<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.46084>

Reynolds, S.G.; ARIAS, E. Introduction. In: Mondragón-Jacobo, C.; Pérez-González, S. (Eds.). Cactus (*Opuntia spp.*) as forage. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p.1-4, 2001.

Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. Ribeiro, J.F. Cerrado: ecologia e flora. EMBRAPA Cerrados, Planaltina. Pp. 151-212, 2008.

Rocha Filho, R. R. Palma Gigante e genótipos resistentes à cochonilha do carmim em dietas para ruminantes. 87 f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

Rodrigues, A. M.; Pitacas, F. I.; Reis, C. M. G; Blasco, M. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* cladodes from Portuguese ecotypes. **Bulgarian Journal of Agricultural Sciences**, v. 22, p. 40-45, 2016.

Rosolem, C. A. Interação de potássio com outros íons. In: Yamada, T.; Roberts, T.L. (Ed.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, p. 239-256, 2005.

Ruan, J.; WU, X.; Hardter, R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of different types of tea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, p. 47-52, 1999.

Ruan, J.; Wu, X.; Ye, Y.; Hardter, R. Effect of potassium, magnesium and sulphur applied in different form of fertilizers on free amino acid content in leaves of tea (*Camellia sinensis*L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 76, p. 389-396, 1998.

Sá, J. F. Farelo de palma (*Opuntia ficus indica*) na alimentação de vacas em lactação. 2012. 110 f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

Sampaio, E. V. S. B. Fisiologia da palma. In: Menezes, R. S. C.; Simões, A. S. (Ed.). A palma no nordeste do Brasil: conhecimento e perspectiva. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.

Santos D.C.; Santos M.V.F.; Farias I.; Dias F.M.; Lira M.A. 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, 2001.

Santos, D. C.; Farias, I.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Arruda, G. P.; Coelho, R. S. B.; Dias, F. M.; Warumby, J. F.; Melo, J. N. de. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco: cultivo e utilização. Recife. IPA. Documentos, p. 45, 2002.

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

Santos, D. C.; Lira, M. A.; Dias, F. M. Melhoramento genético da palma forrageira...in: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (Ed.). A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 27-42, 2005.

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

Santos, M. R.; Donato, S. L. R.; Junior, P. R. F. C. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, v.11, n.1, p.75-86, 2020.

Scheinvar, L. **Usos e importância das Cactáceas**. In: I workshop sobre a palma forrageira: usos e perspectivas para o semiárido. 1, 2012, Feira de Santana. Anais... Feira de Santana, p.151, 2012.

Scherer, H.W.; Mackown, C.T.; Leggett, J.E. Potassium-ammonium uptake interactions in Tobacco seedlings. **Journal of Experimental Botany**, v. 35,p. 1060-1070, 1984.

Schiavinatti, A.F.; Andreotti, M.; Benett, C.G.S.; Pariz, C.M.; Lodo, B.N.; Buzetti, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no Cerrado. **Bragantia**, v.70, n.4, p.925-930, 2011.

Silva, C. C. F.; Santos, L. C. Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 10, 2006.

Silva, C.; Buzetti, E.; Salatier, L. G.; Lazarini, G. E.; Eustáquio SÁ, M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005.

Silva, D. D. D. Composição mineral e bromatológica de genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Napolea* em diferentes estádios fenológicos. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, p.46. 2019.

Silva, E. T. D. S.; Melo, A. A. S. D.; Ferreira, M. D. A.; Oliveira, J. C. V. D.; Santos, D. C. D.; Silva, R. C.; Inácio, J. G. Thuanny dos Santos et al. Acceptability by Girolando heifers and nutritional value of erect prickly pear stored for different periods. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 761-767, 2017.

Silva, J. A.; Bonomo, P.; Donato, S. L. R.; Pires, A. J. V.; Rosa, R. C. C.; Donato, P. E. R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 866-875, 2012. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7isa2134>.

Silva, J. A.; Bonomo, P.; Donato, S. L. R.; Pires, A. J. V.; Silva, F. F.; Donato, P. E. R. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações químicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.8, p. 342-350, 2013.

Silva, K.B, Oliveira, J.S, Santos, E.M, Ramos, J. P.F, Cartaxo, F.Q, Givisiez, P. E.N, Zanine, A. M. Cactus Pear as Roughage Source Feeding Confined Lambs: Performance, Carcass Characteristics, and Economic Analysis. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 625, 2021.

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

Silva, R. T. D. Trocas gasosas, caracterização citogenética e vigor de sementes dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. **Tese** (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia, p. 115, 2019.

Silva, R.R.; Sampaio, E.V.S.B. Palmas forrageiras *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*: sistemas de produção e usos. **Revista GEAMA**, v.2, n.1, 2015.

Simões, D. A.; Santos, D. C.; Dias, F. M. Introdução de *Opuntia ficus-indica* no Brasil. In: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (Ed.). **A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, p. 13-26. 2005.

Sims, A. L.; Schepers, J. S.; Olson, R. A.; Power, J. F. Irrigated corn yield and nitrogen accumulation response in a comparison of no-tillage and conventional till: tillage and surface-residues variables. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 5, p. 630-637, 1998.

Siqueira, M. C.; Ferreira, M. D. A.; Monnerat, J. P. I. D. S.; Silva, J. D. L.; Costa, C. T., Conceição, M. G.; Melo, T. T. D. B. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of

cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. **Animal Feed Science and Technology**, v.226, p.56-64, 2017.

Snyder, C. S. Enhanced nitrogen fertiliser technologies support the '4R' concept to optimise crop production and minimise environmental losses. **Soil Research**, v. 55, n. 6, p. 463-472, 2017.

Soares, C.; Rocha Júnior, V. R.; Monção, F. P.; Borges, L. D. A.; Caldeira, L. A.; Costa, N. M.; Chamone, J. M. A. Combinations of cactus pear with different roughage sources on the production, chemical composition, and milk fatty acid profile of F1 Holstein/Zebu cows. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 2567-2576, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02290-x>.

Soares, J. C.; Silva Jr, S. S. Palma forrageira: uma alternativa para sobrevivência no Semiárido, **Revista Cabra e Ovelha**, v. 34, n. 72, p. 4-5. 2012.

Souza, M. P.; Coutinho, J. M. D. C. P.; da Silva, L. S.; Amorim, F. S.; Alves, A. R. Composição e estrutura da vegetação de caatinga no sul do Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 210-217, 2017.

Stevens, P. F. Angiosperm phylogeny website. 2015. <http://www.bot.org/MOBOT/research/APweb>

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora. 2017.

Tartaglia, F. D. L., Souza, A. R. E. D., Santos, A. P. D., Barros Júnior, A. P., Silveira, L. M. D.; Santos, M. G. D. Eficiência no uso de nitrogênio por cultivares de algodão naturalmente colorido em região semiárida. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 4, 2020.

Teles, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Jr; J. C. B., Bezerra Neto, E.; Ferreira, R. L. C.; Lucena, J. E. C., e Lira, M. A. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n.31, v.1, p.52-60, 2002.

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

Tosto, M. S. L.; Oliveira, R. L.; Bagaldo, A. R.; Dantas, F. R.; Menezes, D. R.; Chagas, E. C. D. O. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.3, 2007.

Trenkel, M. E. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: International fertilizer industry association. v.11, 1997.

Usherwood, N. R. Interação do Potássio com outros íons. In: Yamada, T.; Igue, K.; Muzilli, O.; Usherwood, N.R. (Ed.). Potássio na agricultura Brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato; Instituto Internacional da Potassa; Fundação Iapar, p. 227-247, 1982.

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

Vieira, R.F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. Embrapa Meio Ambiente-Livro científico, 2017.

Vitti, G. C.; Tavares, J. E.; Luz, P. H.C.; Favarin, J. L.; Costa, M. C. G. Influencia da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p.663-671, 2002.

Wanderley, W. L.; Ferreira, M. D. A.; Batista, Â. M. V.; Vêras, A. S. C.; Bispo, S. V.; Silva, F. M. D.; Santos, V. L. F. D. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à palma forrageira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.2, p.444-456, 2012.

Wanderley, W. L.; Ferreira, M.A.; Andrade, D.K.B. et al. Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill.) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na Alimentação de Vacas Leiteiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n. 1, p. 273-281, 2002.

Xu, G.; Wolf, S.; Kafkafi, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 4, p. 719-734, 2002.

Xu, Q. F.; Tsai, C. E.; Tsai, C.Y. Interaction of potassium with the form and amount of nitrogen nutrition on growth and nitrogen uptake of maize. **Journal Plant Nutrition**, v. 15, n. 1, p. 23-33, 1992.

CAPITULO II-

Eficiência da adubação com ureia protegida no cultivo de palma forrageira sob condições de sequeiro em savana do Brasil

The Journal of Agricultural Science

(cambridge.org/ags)

Magalhães, R.M.F. **Eficiência da adubação com ureia protegida no cultivo de palma forrageira sob condições de sequeiro em savana do Brasil.** 2021. p.132. (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

Resumo

A palma forrageira é uma espécie importante para a alimentação animal em regiões de clima seco. Não existem informações sobre a fertilização com ureia protegida no cultivo da palma forrageira em cultivo de sequeiro na região de savana. O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial forrageiro de *Nopalea cochenillifera* variedade Doce em latossolo amarelo em regime de sequeiro no Cerrado, comparando a fertilização com ureia e ureia revestida em diferentes níveis. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 4 \times 2$, com os fatores correspondentes a duas fontes de nitrogênio (ureia e ureia revestida com polímeros, N^+), quatro níveis de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg ha^{-1} ano) e duas safras (Ano I e Ano II). As plantas foram avaliadas após um ano de cultivo, em cada ano de avaliação, quanto às características de crescimento, produção, composição química e mineral e valor nutricional. Para a emissão de cladódios não houve influência da fonte, a dose de 240 kg ha^{-1} proporcionou maior emissão com média de 17,75 cladódios por planta⁻¹. Para a produção de massa verde, massa seca e quantidade de animais alimentados com a produção, a fonte de nitrogênio não influenciou os resultados dessas variáveis até a dosagem de 120 kg N ha^{-1} ano⁻¹, porém o uso de ureia convencional proporcionou um resultado superior na dose de 240 kg ha^{-1} , em relação à fonte de N^+ (216,97 e 21,55 t ha^{-1} e 1.651,37 ovinos ha^{-1}) respectivamente. A maior eficiência do uso do nitrogênio (EUN) foi encontrada na dose de 60 kg N ha^{-1} (142 kg ha^{-1} ano⁻¹). Os valores de CNF foram maiores em 3,5 g kg^{-1} MS quando a palma foi fertilizada com ureia no ano I e com 5,4 g kg^{-1} MS no ano II. O uso de ureia convencional promoveu melhores resultados das características agrônomicas e nutricionais da palma forrageira, em regime de sequeiro, quando comparado ao uso de ureia revestida com polímeros.

Palavra-chave: Cactáceas, Adubação nitrogenada, Pecuária.

Magalhães, R.M.F. **Efficiency of fertilization with protected urea in the cultivation of forage palm under rainfed conditions in savannah in Brazil.** 2021. p.132. (PhD in Animal Science) - Federal University of Piauí, Teresina, 2021.

Abstract

The cactus pear is an important species for animal feed in dry climate regions. There is no information on fertilization with protected urea in the cultivation of cactus pear in rainfed cultivation in the savanna region. The aim of the present study was to evaluate the forage potential of *Nopalea cochenillifera* variety Doce in yellow latosol under rainfed conditions in the Brazilian Cerrado, comparing fertilization with urea and coated urea at different levels. A randomized block design in a $2 \times 4 \times 2$ factorial scheme was adopted, with factors corresponding to two nitrogen sources (urea and polymer-coated urea, N⁺), four nitrogen levels (0, 60, 120 and 240 kg ha⁻¹ year) and two crops (Year I and Year II). Plants were evaluated after one year of cultivation, in each year of evaluation, for growth characteristics, production, chemical and mineral composition and nutritional value. For cladode emission there was no influence of the source, the dose of 240 kg ha⁻¹ provided higher emission with an average of 17.75 cladodes per plant⁻¹. For the production of green mass, dry mass and number of animals fed with the production, the nitrogen source did not influence the results of these variables up to the dosage of 120 kg N ha⁻¹ year⁻¹, but the use of conventional urea provided a superior result at the dose of 240 kg ha⁻¹, in relation to the N⁺ source (216.97 and 21.55 t ha⁻¹ and 1,651.37 sheep ha⁻¹) respectively. The highest nitrogen use efficiency (EUN) was found at the dose of 60 kg N ha⁻¹ (142 kg ha⁻¹ year⁻¹). The CNF values were higher at 3.5 g kg⁻¹ DM when the palm was fertilized with urea in year I and with 5.4 g kg⁻¹ DM in year II. The use of conventional urea promoted better results for the agronomic and nutritional characteristics of cactus pear, in dryland conditions, when compared to the use of polymer-coated urea.

Key words: Cactaceae, Nitrogen fertilization, Livestock.

1. Introdução

O bioma Cerrado é conhecido como savana brasileira e tem predominância de solos de baixa fertilidade (Barbosa & Kumar, 2016; Costa-Coutinho et al., 2019). A classe de solo mais encontrada no Brasil são os latossolos, que ocorrem em regiões de diferentes condições climáticas, relevo e material de origem (Tognon et al., 1998). São solos profundos, em estágio avançado de intemperização, com coloração relativamente homogênea de tons amarelos e /ou avermelhados (Gaspari et al., 2020). Sendo também caracterizados pela baixa fertilidade, fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos, pobres em matéria orgânica, por consequência há uma baixa disponibilidade de nitrogênio para as plantas (Bloom, 2015).

As savanas tropicais são formadas por campos abertos e florestas, sistemas dinâmicos naturais e estão presentes em todas as partes do mundo (Lehmann et al., 2014). Devido a essas características, esses locais são amplamente utilizados para a produção animal e cultivo de plantas forrageiras. (Muir et al., 2015). A palma forrageira tem potencial para cultivo no Cerrado apesar de seu pouco uso nesta região (Edvan et al., 2020). Essa planta, além de ser adaptada, possui alto valor nutricional para os animais, sendo uma alternativa eficiente para manter a disponibilidade de ração nos períodos sazonais (Nova et al., 2017; Santos et al., 2017). Dentre as diferentes espécies de palma forrageira, a *Nopalea cochenillifera* é mais aceita pelos animais, devido ao seu alto teor de carboidratos solúveis, além de apresentar alta produção de massa de forragem e rápido crescimento (Santos et al., 2001). Na época da seca, é comum que a palma forrageira se torne a única fonte de ração dos animais, garantindo a segurança alimentar dos animais (Almeida et al., 2019), além de reduzir a necessidade do fornecimento de água, já que os animais reduzem ou suprimem a ingestão de água (Neto et al., 2016), devido ao seu elevado teor de água, que é de aproximadamente, 90% (Lopes et al., 2013).

Para melhorar o desempenho da cultura, a fertilização mineral adequada é essencial, pois a palma forrageira extrai grandes quantidades de nutrientes do solo, principalmente nitrogênio, dessa forma, a fertilização promove a reposição de nutrientes do solo que foram retirados pela planta durante seu desenvolvimento (Schefer et al., 2016). O tipo de solo pode ter grande influência nos processos de perda de nutrientes, pois solos com médio e baixo teor de argila apresentam menor capacidade de retenção de nitrogênio, principalmente na forma de NH_4^{+1} , quando comparados aos solos argilosos (Sangoi et al., 2003). Devido a esses fatores, é

importante utilizar fontes alternativas de fertilização com nitrogênio que possibilitem reduzir as perdas e que aumentem a eficiência do uso do N no solo (Soratto et al., 2011).

As fontes de nitrogênio mais utilizadas no cultivo da palma forrageira no Brasil são ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio (Santos et al., 2016). No entanto, estas são mais suscetíveis a perdas para o meio ambiente por volatilização de amônia e lixiviação de nitrato (Noellsch et al., 2009), especialmente em solos com médio e baixo teor de argila. Dentre as fontes de fertilizantes nitrogenados, a ureia é amplamente utilizada devido ao seu menor custo, mas sua eficiência de uso pela planta é reduzida por ser rapidamente hidrolisada, aumentando a perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia (Skonieski et al., 2017). A palma forrageira tem mostrado respostas positivas a fertilizações com nitrogênio acima de 100 kg de N por hectare (Nascimento et al., 2020). Usando a ureia, a eficiência da fertilização com nitrogênio é inversamente proporcional ao aumento do teor de nitrogênio, ou seja, em doses altas a eficiência é baixa (Bernardi et al., 2018).

A ureia revestida é composta por grânulos que são protegidos por uma camada composta por aditivos e polímeros minerais, o que favorece gradativamente o aporte de nitrogênio na solução do solo e, conseqüentemente, melhora a eficiência do seu uso pelas plantas ao longo do cultivo (Grant et al., 2012). O efeito positivo da fertilização com nitrogênio de liberação lenta foi relatado em diferentes safras, variando com as características de solo, de manejo e com as condições climáticas que alteram a volatilização de NH_3 , na época de aplicação do fertilizante (Eman et al., 2009; Osman et al., 2009; Rodrigues et al., 2010).

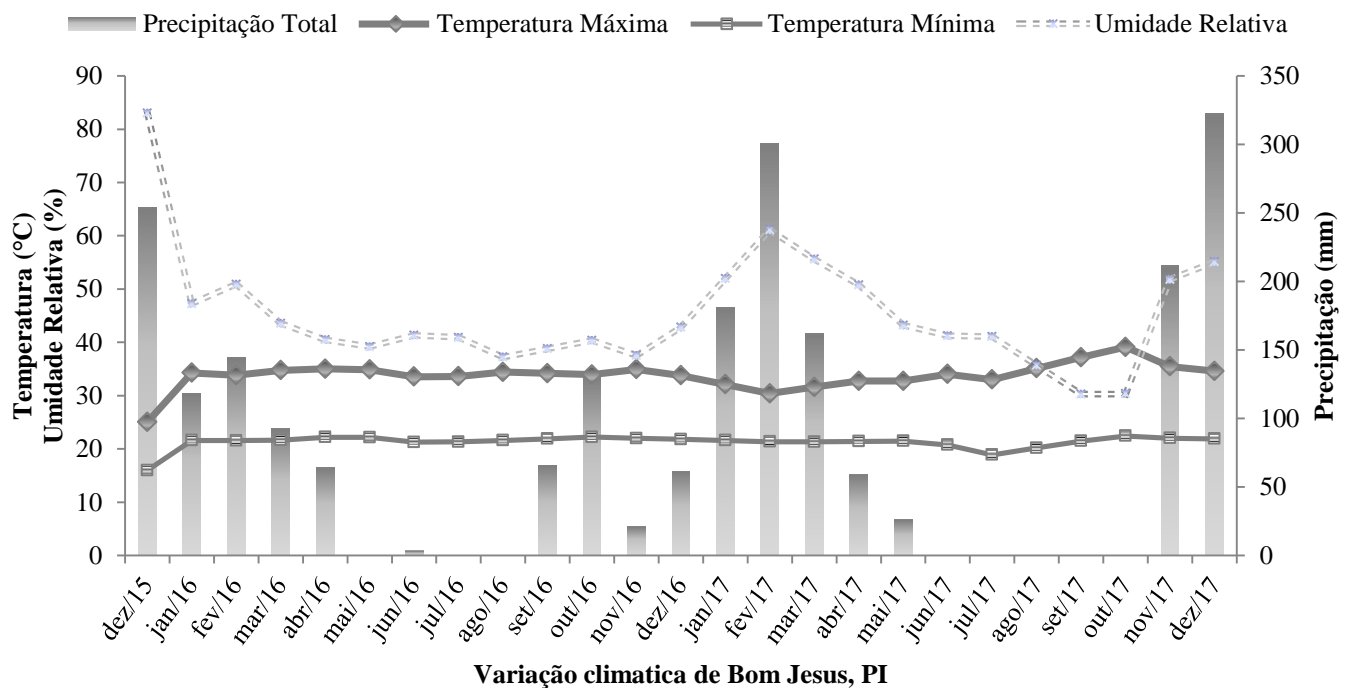
Assim, hipotetizamos que o uso de ureia revestida por polímeros com teores superiores a 100 kg de N por hectare no cultivo de *N. cochenillifera* em um latossolo amarelo com teor médio de argila e sob condições de sequeiro no Cerrado proporcionaria melhor crescimento, produção e qualidade nutricional para alimentação animal, quando comparada ao uso da ureia convencional. Portanto, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o potencial forrageiro de *N. cochenillifera* variedade Doce cultivada em latossolo amarelo com teor médio de argila em regime de sequeiro no Cerrado, fertilizado com ureia em comparação com ureia revestida em diferentes níveis, através da avaliação das características de crescimento, produção, composição química e mineral e valor nutricional da planta.

2. Material e Métodos

2.1. Localização do experimento

O experimento foi realizado no período de dezembro de 2015 a dezembro de 2017, no município de Bom Jesus, Piauí, Brasil, localizado na latitude de 09° 04' 28" Sul e a longitude de 44° 21' 31" Oeste, com altitude de 277m. O clima é do tipo Aw (clima tropical com estação seca de inverno) segundo o modelo da classificação de Köppen. A vegetação da região é o Cerrado, equivalente à savana brasileira (Costa-Coutinho et al., 2019). Os dados referentes à precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e temperatura máxima e mínima durante o período experimental no ano de 2015 a 2017, encontram-se na Figura 1.

Figura 1. Médias mensais de temperaturas e umidade relativas, precipitação total acumulada mensal, durante o período de cultivo de *Nopalea cochenillifera* variedade Doce.



Fonte: <http://www.inmet.gov.br>. Estação: 83919, Bom Jesus, Piauí, Brasil.

O solo do local do experimento foi classificado como Typic Haplustox (Soil Survey Staff) e Latossolo Amarelo Distrófico Típico de acordo com Brazilian Soil Survey (Ratke et al., 2020), com classe textural franco-argiloarenosa e são descritas na Tabela 1. As análises físicas e químicas do solo foram realizadas de acordo com a metodologia de Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Características do solo da área experimental.

K ⁺	P	Zn	V	m	M.O	Argila	Silte	Areia
----- mg.dm ⁻³ -----			----- % -----		----- g.kg ⁻¹ -----			
127,0	74,50	1,03	59,0	0,0	1,05	257	34	709
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ⁺	H+Al	SB	CTC	pH (H ₂ O)	
----- cmol _c dm ⁻³ -----								
1,68	0,77	7,80	0,10	1,94	2,78	4,72	5,5	

M.O= Matéria Orgânica; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V =Saturação de Bases; m=Saturação de Alumínio.

2.2. Modelo do experimento

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 × 4 × 2 com 4 repetições. Os fatores corresponderam a duas fontes de nitrogênio (ureia e ureia protegida por polímeros, N⁺), quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ ano) e duas safras (Ano I e Ano II).

2.3. Plantio e fertilização

O plantio da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*), variedade Doce, foi realizado com espaçamento de 1,5 m × 0,1 m entre plantas, tendo 50% do comprimento do cladódio enterrado no solo, na posição vertical, com uma densidade de 66.670 plantas ha⁻¹ em dezembro de 2015. Cada unidade experimental (parcela) continha 16 plantas, onde foram avaliadas quatro plantas úteis por parcela ao final de cada ano de avaliação (Ano I - Dezembro de 2015 a Novembro de 2016 e Ano II - Dezembro de 2016 a Novembro de 2017).

Foram realizadas capinas manuais, quando necessário e para controle de pragas foi utilizado aplicação de inseticida (O, O-dimethyl O-4-nitrophenyl phodphorothioa-te). O período de avaliação foi de dois anos, com dois ciclos de avaliação (Ano I - Dezembro de 2015 a Novembro de 2016 e ano II - Dezembro de 2016 a Novembro de 2017), em regime de sequeiro.

O solo foi fertilizado em dezembro de 2015 (fertilização de semeadura) e dezembro de 2016 (fertilização de manutenção), seguindo as recomendações de Edvan e Carneiro (2019). Foi aplicado no plantio 48 kg de fósforo ha⁻¹ na forma superfosfato simples (18% P₂O₅) e 107 kg de potássio ha⁻¹ em forma de KCl (60% K₂O).

Nas adubações foram aplicados o nitrogênio utilizando como fonte a ureia convencional (com fórmula CH₄N₂O, contém – 45% de N) e o N⁺ (com fórmula, CH₄N₂O é o FH Nitro Mais[®], composto de ureia revestida com 0,15% Cu e 0,4% B, 100% solúveis, para

evitar perdas de nitrogênio por volatilização) nas doses de nitrogênio com 0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹, as fontes e doses foram distribuídas nas parcelas de acordo com os tratamentos. Devido à maior possibilidade de perda de nutrientes, por se tratar de um solo com alto teor de areia, apresentando argila 1:1, e óxidos de ferro e alumínio, a fertilização foi distribuída conforme descrito acima, para evitar a lixiviação do nitrogênio e potássio no período mais chuvoso, pois há predominância de chuvas irregulares e concentradas na região.

2.4. Avaliação da produção, quantidade de animais alimentados com a produção, eficiência do uso do nitrogênio e acúmulo de água.

Duas colheitas foram realizadas para avaliação da palma forrageira. A cada colheita as plantas tinham um ano de cultivo, sendo a primeira ocorrendo em dezembro de 2016 e a segunda em dezembro de 2017. As características morfométricas da planta foram avaliadas antes de cada colheita, e logo após, as características de produção, composição química e o valor nutricional das plantas foram avaliados. Os cladódios foram cortados na base do cladódio primário, em seu ponto de inserção na planta, preservando a planta mãe, que é a matriz (Edvan e Carneiro, 2019).

Ao final de cada ano de avaliação (Ano I e Ano II) as plantas foram avaliadas quanto às características morfométricas do cladódio e da planta, e as características de produção, seguindo a metodologia descrita por Edvan e Carneiro (2019). As avaliações morfométricas não destrutivas foram: altura da planta, número de cladódio, comprimento e largura de cladódios. Para quantificar a altura e largura da planta foi utilizada uma fita métrica graduada em cm, com realização da medida na vertical, da base da planta até o ponto mais alto (altura) e na horizontal, de um ponto a outro da planta que apresentasse maior envergadura (largura), o número de cladódios foi obtido através da contagem dos mesmos. A área de cada cladódio (AC) foi determinada, conforme descrito por Cortázar e Nobel (1991), através da seguinte expressão: $AC = \text{Comprimento} \times \text{Largura} \times 0,632$.

Os rendimentos da cultura da palma forrageira foram baseados na colheita de cladódios de todas as plantas, ao final de cada ano de avaliação (Ano I e Ano II). Os pesos de todos os cladódios colhidos foram determinados em campo. A produção de massa verde (PMV) de forragem da palma forrageira variedade Doce foi determinada na colheita, em t ha⁻¹. Em seguida, uma amostra com cerca de 500 g da matéria verde foi retirada para realização das análises laboratoriais e determinação da massa seca. As amostras foram trituradas, para facilitar a secagem e secas em estufa com ventilação forçada a 65°C até o material atingir peso seco constante, a fim de quantificar o teor de matéria seca (MS) pelo método 934.01, expresso

em g kg⁻¹, de acordo com metodologia da AOAC (2012). Para a realização das análises químicas após a pré-secagem as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey com malha de 1 mm, e armazenadas em recipientes plásticos bem fechados. Com o teor de matéria seca da planta foi possível calcular a produção de massa seca (PMS) de forragem, em t ha⁻¹.

Uma simulação foi realizada para saber o número de animais (ovinos ha⁻¹), que podem ser alimentados com a produção de palma forrageira resultantes dos diferentes níveis e fontes de adubação nitrogenada estudadas, produzidas em 1 (um) hectare. Para isso, foi utilizada como base uma dieta balanceada por Silva *et al.* (2021), testada em ovinos com idade média de 150 dias, não castrados, estipulando o ganho de peso médio de 200g animal dia⁻¹, com uma única fonte de volumoso, a palma forrageira (38,27% da dieta total), associada ao concentrado (61,43% da dieta total) composto por: farelo de trigo (71,53%), farelo de milho (18,47%), farelo de soja (6,83%), suplemento mineral (1,91%), cloreto de amônio (1,11%), ureia (0,13%), sulfato de amônio (0,01%).

Para a estimativa da quantidade de animais (QA) alimentados com a produção total de palma forrageira em kg MS ha⁻¹ano⁻¹ (PPF), foi levada em consideração a média de peso de 22 kg PV, de cordeiros machos não castrados, o consumo (C) kg MS ha⁻¹A⁻¹ de 2,5% do PV e a ingestão de palma na medida de 382,69 g MS dia⁻¹, e o período de 62 dias de confinamento da dieta testada, foi realizada através da fórmula: QA=PPF/[(PV x 2,5% x IPF) x DC]. Onde QA: é a quantidade de animais alimentados com palma forrageira; PPF: é a produção total de palma forrageira em kg MS ha⁻¹ produzida durante o ano; C: Consumo em kg MS ha⁻¹A⁻¹ é dado pela relação entre o peso vivo à porcentagem de consumo baseada no peso vivo e a ingestão de palma forrageira kg MS A⁻¹. DC: Duração do consumo em dias.

Para calcular a eficiência e acúmulo de água foram utilizadas as fórmulas: eficiência do uso da água = (MS t ha⁻¹ ÷ Precipitação Acumulada em mm por mês) × 1000; e a fórmula: Acúmulo de água = [(t ha⁻¹ - MS t ha⁻¹) ÷ Precipitação Acumulada] × 1000. Os valores de acúmulo de N foram obtidos através do teor de N na planta e a produção de massa seca (PMS) de forragem. Com os dados de PMS e acúmulo de N, foi calculada a eficiência de utilização de nitrogênio A eficiência do uso do nitrogênio (EUN), foi determinada pela razão relacionando o rendimento de MS kg⁻¹ha⁻¹ ao nível de N aplicado, através da formula: EUN = (MS em t ha⁻¹*1000)/ Dose de N ha⁻¹, sendo que a EUN é dada em (kg de MS dose N⁻¹).

2.5.Análise de composição química

As análises químicas foram realizadas determinando-se o teor de matéria seca (MS) a 105°C, proteína bruta (PB) (método 988.05) de acordo com os procedimentos da AOAC

(1998), e com base no N total, foi determinado o nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) segundo metodologias da AOAC (2012), e cinzas (CZ, método nº 942,05). As frações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), foram obtidas a partir da metodologia descrita por Mertens et al. (2002), adaptada para equipamento autoclave (105°C/60 min) (Barbosa et al., 2015), utilizando-se saquinhos de tecido-não-tecido (TNT; 100 g/m²) com tamanho 4×5cm e porosidade de 100µm (Valente et al., 2011). Após a determinação da FDN e FDA, procedeu-se a correção para cinzas e proteína. A fibra em detergente neutro (FDNcp) e a fibra em detergente ácido (FDAcp), corrigidos para cinza e proteína, e a lignina foram obtidas pelo método de Van Soest et al. (1991).

Foram calculados a matéria orgânica, celulose e hemicelulose, pelas seguintes fórmulas: MO = 100 - cinza, CEL = FDAcp - LIG e HEM = FDNcp - FDAcp. Os carboidratos totais (CT) foram determinados segundo a equação: CT = 100 - (%PB + %EE + %MM). Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram estimados segundo Hall (2000), CNF = 100 - (%PB + %EE + %MM). O fracionamento dos carboidratos que são classificados nas frações A+B1, B2 e C foram determinados pela metodologia de Sniffen et al. (1992), através das seguintes equações: A+B1 = 100 - (C + B2); B2 = FDNcp - C; C = %LIG × 2,4.

2.6. Determinação da energia bruta

Para determinação do teor de Energia Bruta foi utilizada a Bomba calorimétrica do laboratório de nutrição animal UFIPI/CPCE, modelo Parr 6400 CALORIMETER (Automatc Isoperibol Calorimet), nela a energia bruta é dada em cal.g⁻¹.

2.7. Degradabilidade *in situ*

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca e da matéria orgânica foi determinada pelo método adaptado de Tilley e Terry (1963), com incubação de 48 horas. Pesou-se 0,5g da amostra em utilizando-se saquinhos de tecido-não-tecido (TNT; 100 g/m²) com tamanho 4×5cm e porosidade de 100µm, os sacos foram selados a quente e colocados nos frascos (1000 mL de capacidade) de digestão da incubadora Daisy. Em seguida foi adicionado aproximadamente 1600 mL da solução tampão e 400 mL de líquido ruminal (coletado de animal doador). A inoculação dos tubos foi realizada com constante borbulhado de CO₂ por 120 segundos, em seguida, transferidos para a incubadora e permaneceram por 48 horas a 39°C. Ao final da incubação, foram retirados os sacos dos frascos, e lavados com água fria, após a lavagem, o material foi para o analisador de fibra e seguiu o procedimento para a

determinação da fibra em detergente neutro (FDN). Para a obtenção da digestibilidade da matéria orgânica, os sacos foram queimados em forno mufla a 600°C por quatro horas.

2.8. Determinação de macro e microminerais

Para determinação dos macro e micro minerais foi realizado a digestão nítrico-perclórica, após a digestão foi determinado o teor de fósforo (P) por espectrofotometria UV/VIS a 660nm, por meio de leitura de intensidade da cor azul do complexo fosfomolibdico produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico em espectrofotômetro modelo IL-592 EVEN[®]. Já os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), modelo AA240FS VARIAN[®], conforme metodologias descritas por Silva (2009), realizados no Centro de Análises de Solos do CPCE/UFPI.

2.9. Modelo estatístico

O modelo estatístico adotado foi: $Y_{ijkn} = \mu + D_i + F_j + T_k + DFT_{ijk} + \epsilon_{ijk}$, em que Y_{ijkn} = observação n, referente as doses de nitrogênio i, avaliados quanto a fonte j e no tempo k; μ = constante geral; D_i = efeito das doses de nitrogênio i, $i = 0, 60, 120, 240$; F_j = Fonte de nitrogênio avaliada $j =$ ureia protegida e ureia convencional, T_k = tempo de avaliação da palma k, $k =$ Ano I, Ano II; DFT_{ij} = interação das doses de nitrogênio i versus as fontes de nitrogênio j versus tempo de avaliação palmas k; ϵ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação Y_{ijkn} .

Os dados foram submetidos à análise de variância e interação dos fatores a nível de significância de $P < 0,05$. Para análises das fontes de nitrogênio (ureia e ureia protegida por polímeros, N^+) e períodos de avaliação (Ano I e Ano II) foi utilizado o teste Tukey, para análise das doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 $kg\ ha^{-1}\ ano$) foi utilizado regressão, todas as análises foram realizadas com nível de significância de $P < 0,05$. Os dados foram analisados utilizando-se o software SISVAR versão 5.0 (Ferreira, 2011).

3. Resultados

Houve efeito de interação ($P < 0,05$) entre fontes \times doses de nitrogênio para número de cladódios (NC), produção de massa verde de forragem (PMV), produção de massa seca de forragem (PMS) e quantidade de animais (QA), (Tabela 2). Foi observado interação entre doses \times anos para eficiência de uso de nitrogênio (EUN) e acúmulo de água (ACA). Não foi observada interação entre fontes \times ano e fonte \times dose \times ano ($P > 0,05$) para nenhuma das variáveis agronômicas avaliadas.

As variáveis agronômicas: área de cladódio (AC), altura da planta (AP) e eficiência de uso de nitrogênio (EUN), tiveram efeito isolado ($P < 0,01$) em relação as doses de nitrogênio.

Tabela 2. Análise de variância dos parâmetros agronômicos da palma forrageira sob diferentes fontes e dosagens de nitrogênio, em dois anos de colheitas.

Variáveis	<i>P – valor</i>						
	Fonte (F)	Dose (D)	Ano (A)	F \times D	D \times A	F \times A	F \times D \times A
NC	0,961	<0,01*	0,961	0,050*	0,796	0,412	0,951
AC	0,791	<0,01*	0,762	0,928	0,962	0,907	0,965
AP	0,978	<0,01*	0,934	0,770	0,999	0,762	0,984
PMV	0,015	<0,01*	0,708	<0,01*	0,960	0,810	0,999
PMS	0,049	<0,01*	1,000	0,031*	1,000	1,000	1,000
QA	0,010	<0,01*	0,738	0,007*	0,972	0,821	0,999
EUA	0,081	<0,01*	0,595	0,129	<0,01*	0,139	0,103
ACA	0,165	<0,01*	<0,01*	0,089	<0,01*	0,120	0,061
EUN	0,084	<0,01*	0,583	0,448	0,798	0,762	0,945

Fonte(F): fonte de adubo nitrogenado; Dose (D): dose de nitrogênio; Ano (A): ano de colheita; NC: Número de cladódio; AC: Área de cladódio; PE: Perímetro; AP: Altura da planta; PMV: Produção de massa verde; PMS: Produção de massa seca; EUA: Eficiência do uso da água; ACA: acúmulo de água; QA: quantidade de animais; EUN: eficiência de uso de nitrogênio. *Valor significativo ($P < 0,05$).

O número de cladódios não foi afetado pela fonte de nitrogênio, porém, em relação às doses de N, houve um incremento linear crescente. (Tabela 3).

Para a produção de massa verde, massa seca e quantidade de animais alimentados com a produção palma, a fonte de nitrogênio não influenciou nos resultados destas variáveis até a dosagem de 120 kg N ha⁻¹ ano⁻¹. No entanto, a utilização da ureia convencional proporcionou resultados superiores quando forneceu 240 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A PMV, PMS e QA seguiram a mesma tendência, com efeito linear crescente para as duas fontes com o aumento da dose de nitrogênio no solo. Na dose de 240 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ para essas três variáveis a ureia convencional valores em média 38% a mais em relação a ureia protegida (N⁺).

Tabela 3. Desdobramento do efeito de interação entre fontes × doses de nitrogênio nos parâmetros agrônômicos da palma forrageira.

Fonte	Doses de N (kg ha ⁻¹)				R ²	EPM	CV
	0	60	120	240			
Número de Cladódios (unidade planta ⁻¹)							
N ⁺	8,41a	10,16a	14,67a	17,33a	94,14*	0,58	1,60
Ureia	7,50a	11,67a	13,17a	18,17a	97,60*		
Produção de Massa Verde (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)							
N ⁺	59,74a	95,33a	127,97a	157,97b	95,32*	8,70	2,52
Ureia	60,18a	99,12a	127,42a	216,97a	99,32*		
Produção de Massa Seca (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)							
N ⁺	6,15a	8,89a	11,80a	15,57b	98,80*	0,92	2,80
Ureia	6,34a	9,70a	11,96a	21,55a	97,92*		
Quantidades de Animais Alimentados com a Produção (A.ha ⁻¹ ano ⁻¹)							
N ⁺	471,27a	681,24	904,23a	1193,12b	98,80*	34,10	2,81
Ureia	485,83a	743,31a	916,49a	1651,37a	97,91*		

EPM: erro padrão médio. CV: coeficiente de variação. A: Unidade de animal, refere-se a quantidade de animais que podem ser alimentados com a produção anual de 1 ha de palma (ovinos ha⁻¹). Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna diferem em P <0,05 pelo teste de média de Tukey.*Efeito linear a p<0,05 na linha.

Entre os anos de avaliação, o acúmulo de água (Tabela 4) foi superior no Ano I de cultivo da palma forrageira apresentando efeito linear crescente com o aumento das doses de N, obtendo aumento de 46%, 77% e 123% nas doses 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ respectivamente. No Ano II, também foi observado efeito linear crescente, porém com menores valores.

Tabela 4. Desdobramento do efeito de interação entre anos de colheita × doses de nitrogênio nos parâmetros agrônômicos da palma forrageira.

Ano	Doses de N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				R ²	EPM	CV
	0	60	120	240			
Acúmulo de água (t ha ⁻¹)							
I	55,18a	84,64a	114,09a	173,00a	99,79*	6,47	6,49
II	51,27a	57,80b	64,34b	77,41b	98,65*		
Eficiência do uso da água (kg MS mm ⁻¹)							
I	5,97b	9,14b	12,31a	18,66a	99,79*	0,74	2,23
II	11,94a	11,86a	11,77a	11,60b	96,81*		

EPM: erro padrão médio. CV: coeficiente de variação (%). Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna diferem em P <0,05 pelo teste de média de Tukey.*Efeito linear a p<0,05 na linha.

A eficiência do uso da água (EUA) foi maior no Ano II, até a dose de 60 kg N ha⁻¹, já na dose 240 kg N ha⁻¹ o Ano I teve maior EUA. Observou-se que o aumento das doses de nitrogênio melhorou a EUA no Ano I, principalmente nas plantas que receberam a dose de 240 kg ha⁻¹, obtendo valor superior a 61% para EUA quando comparadas ao Ano II. No Ano

II a EUA obteve efeito linear decrescente com aumento das doses de nitrogênio, havendo um decréscimo de 3% da dose 0 para a dose 240 kg N ha⁻¹ (Tabela 4).

Foi observado efeito linear crescente em relação ao aumento das doses de nitrogênio para AC e AP, com aumento de 19% e 40%, respectivamente, em relação à dose zero e a maior dosagem (Tabela 5). Enquanto para EUN houve efeito linear decrescente em relação ao aumento da dosagem de N, para cada kg N ha⁻¹ aplicado houve redução de 0,39 kg MS da palma forrageira.

Observa-se que a maior EUN foi encontrada na dose de 60 kg N ha⁻¹ quando a dose de N é aumentada para 120 kg N ha⁻¹ ocorre uma perda na EUN de 20% e quando comparamos a EUN da dose de 60 kg N ha⁻¹ com a dose 240 kg N ha⁻¹ essa perda é de 100% na eficiência do uso de N.

Tabela 5. Análise do efeito isolado para as doses de nitrogênio nos parâmetros agrônômicos da palma forrageira que não apresentaram interação.

Variável	Doses de N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				R ²	EPM	CV
	0	60	120	240			
AC	82,81	86,64	90,47	98,13	93,14*	2,08	6,17
AP	52,37	57,74	63,11	73,85	99,35*	1,06	1,95
EUN	0,00	142,00	118,30	70,89	81,86*	5,33	8,98

EPM: erro padrão médio. CV: coeficiente de variação (%). AC: Área de cladódio (cm²); AP: Altura da planta (cm); EUN: eficiência de uso de nitrogênio (kg de MS/Kg de N aplicado). *Efeito linear a p<0,05 na linha.

Na análise do valor nutritivo da palma forrageira observou-se efeito de interação (P<0,05) entre fontes de nitrogênio × ano de colheita sobre carboidratos não fibrosos (CNF), fração A+B1, fração B2 e teor de cálcio (Tabela 6). Além disso, houve efeito da interação (P<0,05) entre níveis de nitrogênio × ano de colheita sobre os parâmetros nutricionais extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína (FDNap).

Só houve efeito da interação (P<0,05) entre fonte de nitrogênio × nível de nitrogênio × ano de colheita para a variável IVOMD de valor nutricional da palma forrageira. Foi observado efeito isolado dos níveis de nitrogênio sobre proteína bruta (PB), carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (NFC), fração A + B1, fração B2 e teor de fósforo. Já os teores de matéria mineral (MM), potássio, magnésio e zinco tiveram efeito isolado significativo do ano de colheita (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância dos parâmetros nutricionais da palma forrageira sob diferentes fontes e dosagens de nitrogênio, em dois anos de colheita.

Variáveis	P – valor						
	Fonte (F)	Dose (D)	Ano (A)	F × D	F × A	D × A	F × D × A
MS	0,196	0,283	0,121	0,227	0,786	0,652	0,433
EE	0,212	<0,01*	0,569	0,462	0,095	0,004*	0,853
PB	0,515	<0,01*	0,966	0,347	0,343	0,837	0,397
MM	0,759	0,209	<0,01*	0,339	0,234	0,525	0,964
FDN	0,062	<0,01*	0,165	0,508	0,096	<0,01*	0,065
FDNcp	0,215	<0,01*	0,135	0,154	0,090	<0,01*	0,055
FDA	0,901	0,098	0,704	0,072	0,188	0,567	0,414
LIG	0,265	0,577	0,105	0,302	0,322	0,740	0,748
NIDIN	0,275	0,064	0,552	0,211	0,651	0,359	0,468
CT	0,134	<0,01*	0,103	0,123	0,071	0,561	0,221
CNF	0,450	<0,01*	<0,01*	0,234	<0,01*	0,300	0,117
A+B1	0,797	<0,01*	0,041	0,315	<0,01*	0,255	0,106
B2	0,053	<0,01*	0,488	0,547	<0,01*	0,144	0,079
C	0,130	0,247	0,031	0,735	0,930	0,567	0,616
DIVMS	0,126	0,562	0,134	0,653	0,089	0,449	0,075
DIVMO	0,155	0,614	0,068	0,703	0,079	0,482	0,050*
Fósforo	0,377	0,030*	0,135	0,076	0,129	0,314	0,847
Potássio	0,700	0,455	<0,01*	0,961	0,303	0,909	0,714
Cálcio	0,976	0,681	<0,01*	0,440	0,027*	0,209	0,163
Magnésio	0,948	0,419	<0,01*	0,818	0,529	0,242	0,128
Zinco	0,479	0,446	<0,01*	0,140	0,844	0,985	0,186
Energia	0,168	0,653	0,085	0,173	0,196	0,411	0,287

MS: Matéria Seca; EE: Extrato etéreo; PB: Proteína Bruta; MM: Matéria Mineral; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDNcp: Fibra em Detergente Neutro corrigida para cinzas e proteína; FDA: Fibra em Detergente Ácido; LIG: Lignina; NIDIN: Nitrogênio Insolúvel em Detergente Neutro; CT: Carboidratos Totais; CNF: Carboidratos Não Fibrosos; A+B1: fração A+B1; B2: fração B2; C: fração C; DIVMS: Digestibilidade *in vitro* da Matéria Seca; DIVMO Digestibilidade *in vitro* da Matéria Orgânica, Energia: (KJ) *Valor significativo (p<0,05).

A palma forrageira adubada com ureia apresentou acréscimo de 11% no Ano I e 16% no Ano II de CNF quando comparada com as plantas adubadas com a fonte N⁺ (Tabela 7). Os CNF, fração A+B1, fração B2 e cálcio foram influenciados pela fonte de nitrogênio e o ano de colheita. Os valores de CNF foram superiores com 3,5 g kg⁻¹ MS quando a palma foi adubada com ureia no Ano I e com 5,4 g kg⁻¹ MS no Ano II, esse mesmo comportamento foi observado para a fração A+B1. A fração A + B1 foi superior nos tratamentos com ureia, com 12% no Ano I e 13% no Ano II, quando em comparação aos tratamentos adubados com N⁺.

A concentração da fração B2 na palma forrageira foi superior no Ano I quando adubada com N⁺, enquanto a ureia só proporcionou maiores valores dessa fração no Ano II. Já em relação a concentração de Ca foi observado um comportamento inverso, que houve menor acúmulo na palma no Ano II, quando adubada com ureia.

Tabela 7. Desdobramento do efeito de interação entre fonte de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira.

Fonte	Ano		EPM	CV
	I	II		
Carboidratos não fibrosos (g kg ⁻¹ de MS)				
N ⁺	31,09aB	34,50bA	1,29	8,01
Ureia	34,59aA	39,91aA		
Fração A + B1 (g kg ⁻¹ de MS)				
N ⁺	44,10bB	47,13bA	1,71	7,31
Ureia	49,33aA	53,22aA		
Fração B2 (g kg ⁻¹ de MS)				
N ⁺	27,00aA	21,15aB	1,92	2,33
Ureia	18,79bA	22,04aA		
Cálcio (mg kg ⁻¹)				
N ⁺	25,46aA	21,99aA	1,47	0,44
Ureia	28,38aA	18,97aB		

EPM: erro padrão médio. CV: coeficiente de variação (%). Médias seguidas com letras maiúsculas diferentes na coluna para Ano de Colheita e com letras minúsculas diferentes nas linhas para Fonte de Nitrogênio, a p<0,05 pelo teste de média de Tukey.

A concentração de EE teve efeito linear crescente em relação às doses de nitrogênio nos dois anos de colheita (Tabela 8). No Ano II na maior dosagem de adubação nitrogenada, 240 kg ha⁻¹, foram observados maiores teores de EE, FDN e FDNcp.

Tabela 8. Desdobramento do efeito de interação entre doses de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira.

Ano	Doses de N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				R ²	EPM	CV
	0	60	120	240			
Extrato etéreo (g kg ⁻¹ MS)							
I	18,8a	27,8a	27,7a	28,5b	91,73*	0,25	1,44
II	25,1a	28,2a	28,0a	40,7a	90,12*		
Fibra em detergente neutro (g kg ⁻¹ MS)							
I	398,3a	476,4a	477,8a	389,1b	-	1,91	4,59
II	438,1a	485,7a	495,0a	484,6a	-		
Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (g kg ⁻¹ MS)							
I	321,3a	377,9a	385,2a	295,1b	-	1,54	4,80
II	347,4a	383,5a	396,5a	377,0a	-		

EPM: erro padrão médio. CV: coeficiente de variação (%). Médias seguidas com letras minúsculas diferentes nas colunas para p<0,05, pelo teste de média de Tukey. *efeito linear a p<0,05 na linha.

Foi observado efeito crescente para PB que aumentou sua concentração em 40,6 g kg⁻¹ MS com a dose 240 kg N ha⁻¹ em relação a dose 0 (Tabela 9). Enquanto para CT, CNF,

Fração A+B1 houve uma redução em suas concentrações de 85,6; 82,2; 74,1 g kg⁻¹ MS, respectivamente com a dose 240 kg N ha⁻¹ em relação a dose 0.

Tabela 9. Análise do efeito isolado para as doses de nitrogênio nos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação.

Variável	Doses de N (kg ha ⁻¹)				R ²	EPM	CV
	0	60	120	240			
PB (g kg ⁻¹ MS)	75,9	82,7	105,9	116,5	0,91*	1,9	4,1
CT (g kg ⁻¹ MS)	746,7	725,0	706,7	661,1	0,99*	31,1	0,8
CNF (g kg ⁻¹ MS)	386,2	365,6	345,1	304,0	0,99*	8,8	7,5
Fração A+B1 (g kg ⁻¹ MS)	516,8	498,3	479,7	442,7	0,99*	11,7	6,8
Fração B2 (g kg ⁻¹ MS)	174,5	231,9	279,6	203,5	-	13,1	4,9
Fosforo (g kg ⁻¹)	9,0	9,5	10,8	10,1	-	3,1	1,9

EPM: erro padrão médio. CV: coeficiente de variação (%). PB: Proteína Bruta; CT: Carboidratos Totais; CNF: Carboidratos Não Fibrosos. *Efeito linear a p<0,05 na linha.

Para o efeito isolado dos anos de colheita da palma forrageira, as maiores concentrações de MM, Fração C, P, Mg, Zn foram observadas no Ano I, com concentração superior em 34% para matéria mineral, 11,8% para fração C, 39% para potássio, 23% para magnésio e 25% para zinco, em relação ao Ano II de colheita (Tabela 10).

Tabela 3Tabela 10. Análise do efeito isolado para os anos de colheita dos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação.

Variáveis	Ano		EPM	CV
	I	II		
MM (g kg ⁻¹ MS)	17,99A	13,41B	0,43	8,92
Fração C (g kg ⁻¹ MS)	299,7A	267,9B	1,45	5,03
Potássio (g kg ⁻¹)	41,70A	30,04B	1,49	8,69
Magnésio (mg kg ⁻¹)	10,75A	08,77B	0,37	6,43
Zinco (mg kg ⁻¹)	16,41A	13,09B	0,76	5,90

EPM: erro padrão médio. CV: coeficiente de variação (%). Médias seguidas com letras maiúsculas diferentes na linha diferem para p<0,05 pelo teste de média de Tukey.

4. Discussão

Nossa hipótese de que o uso de ureia revestida em níveis superiores a 100 kg de N por hectare no cultivo de *Nopalea cochenillifera* variedade Doce em regime de sequeiro no Cerrado, proporcionaria melhor crescimento, produção e qualidade nutricional para alimentação animal, quando comparada a a ureia convencional foi refutada, pois a ureia sem recobrimento apresentou resultados superiores nessas condições.

A maior eficiência da ureia recoberta por polímeros no Latossolo Amarelo, com médio teor de argila, não foi comprovada, apesar dos relatos científicos de que a ureia convencional é muito volátil nesses solos e, portanto, apresenta baixa eficiência. De acordo com Alves et al. (2018) a ureia recoberta por polímeros apresenta melhores resultados nas lavouras irrigadas, mas neste experimento o cultivo da palma forrageira era em sequeiro, dificultando assim a liberação lenta de nitrogênio no solo. Diferentes estudos têm demonstrado que a ureia revestida por polímeros não proporciona aumento de produtividade em determinadas culturas, sendo recomendado o uso de ureia sem revestimento (Civardi et al., 2011; Frazão et al., 2014), o que foi confirmado no cultivo de palma forrageira.

O aumento do número de cladódios da palma forrageira foi influenciado pelas doses de nitrogênio, independente da fonte, ocorreu provavelmente devido ao estímulo do nitrogênio a nível celular. Taiz et al. (2017) ressaltaram que o nitrogênio tem a capacidade de estimular a divisão celular da planta promovendo a emissão de novos cladódios. Em trabalho desenvolvido por Cunha et al. (2012) ao avaliar a morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), observou que o número de cladódios aumentou de 27,75 (0 kg de N) para 36,08 cladódios (300 kg de N), representando um aumento de 23,08%. Araújo e Machado (2006) relataram que o crescimento e a produção de qualquer espécie vegetal são influenciados pelos níveis de N e P disponíveis e pela interação desses nutrientes no solo.

No presente estudo, o aumento no número de cladódios foi de 51,47% quando a palma foi adubada com N⁺ e 58,72% quando adubada com ureia convencional, na dose de 240 kg N ha⁻¹, quando comparada às plantas que não receberam adubação nitrogenada. Observou-se que mesmo não havendo diferença no número de cladódios entre as fontes de nitrogênio testadas, a ureia convencional proporcionou maior desenvolvimento da palma forrageira, com maior produção de massa verde e seca, e consequentemente maior quantidade de animais, quando se utilizou 240 kg de N ha⁻¹. O trabalho realizado por Lima et al. (2020) demonstrou que à ureia

com dose de nitrogênio de 600 kg ha⁻¹ proporcionou as maiores áreas de cladódios da palma forrageira. Trabalho mostra que a palma forrageira respondeu a doses de 600 kg ha⁻¹.

Em relação às características agronômicas da palma forrageira, observou-se que a ureia revestida por polímeros não proporcionou vantagens sobre a ureia convencional em latossolo amarelo, com teor médio de argila, em cultura cultivada em regime de sequeiro. Não foram encontrados estudos com ureia protegida em cultivo de sequeiro de palma forrageira. Porém, Veçozzi et al. (2018) avaliaram a solubilização e eficiência de uso de nitrogênio (N) de fertilizantes nitrogenados de liberação controlada em arroz irrigado e constatou-se que a eficiência de uso de N da ureia revestida por polímeros foi semelhante à da ureia convencional, não aumentando o tempo de liberação do nutriente neste sistema de cultivo.

Ureia revestida por polímeros (N⁺) promove maior aproveitamento de nitrogênio devido à lenta disponibilidade e retardo na hidrólise pelo inibidor de urease, portanto, fontes de N de liberação lenta permitem reduzir as perdas de N, que geralmente ocorrem com o uso de ureia convencional (Civardi et al., 2011). Porém, este efeito não foi observado nas características produtivas da palma forrageira, provavelmente devido à escassez de água no período de seca em ambos os anos de colheita (junho a agosto de 2017 e maio a agosto de 2018), de forma que a falta de água no solo tornou difícil disponibilizar nitrogênio ao longo do tempo (Figura 1). Em cultivo irrigado em uma região seca do Brasil, Alves et al. (2018) relataram que o uso de ureia revestida reduziu as perdas relativas de N por volatilização.

A maior produção de massa verde e seca com o aumento dos teores de N, para ambas as fontes de N, está relacionada ao aumento do número e da área dos cladódios, bem como da altura das plantas. De acordo com Donato et al. (2014), o aumento da área do cladódio é fundamental na determinação da área fotossintética ativa da planta, pois quanto maior a área do cladódio maior a interceptação da luz solar proporcionando maior acúmulo de massa seca da forragem. Essa resposta também foi observada por Leite et al. (2018) que avaliaram o efeito de diferentes níveis de nitrogênio (0, 150, 300, 450 e 600 kg de N ha⁻¹) nas características estruturais, produtivas e nutricionais da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*, variedade Doce). Os autores observaram que os cladódios secundários e terciários aumentaram em média 72,5% quando a palma forrageira foi fertilizada com 600 kg de N ha⁻¹ em comparação ao nível zero de nitrogênio.

No ano I houve menor precipitação acumulada, com déficit de 367,45mm em relação ao ano II (Figura 1). Apesar disso, no ano I a fertilização com nitrogênio proporcionou maior acúmulo de água, pode ser explicado com as melhores distribuições espaciais das chuvas,

associado às menores temperaturas noturnas, podem ter contribuído para esse maior acúmulo de água na planta.

Nesse sentido, Fernandes et al. (2020) explicam que o maior acúmulo de chuvas no Cerrado, principalmente no município de Bom Jesus, estado do Piauí, ocorre de janeiro a março, com conseqüente deficiência hídrica no solo durante a maior parte do ano (estação seca, Maio a Setembro) e que ao longo dos anos está ocorrendo um aumento da evapotranspiração potencial, devido ao aumento da temperatura média do ar, daí a importância do cultivo de plantas adaptadas a essas condições.

Quando passam por estresse hídrico, as plantas tendem a fechar seus estômatos com o intuito de perder menor quantidade de água por transpiração, o que conseqüentemente ocasiona uma redução na assimilação de CO₂ e redução da fotossíntese líquida, diminuindo o seu desenvolvimento (Taiz & Zeiger, 2017). Cavalcante et al. (2014) diz que dentre os genótipos gigante, redonda e miúda, esta é a que produz maior número de cladódios por planta, mas com o aumento da densidade de plantio diminuiu a emissão e o tamanho dos mesmos, relacionando a maior competição das plantas por espaço, água e nutrientes, resultando em cladódios mais leves e conseqüentemente com menor acúmulo de água.

Ressalta-se que o bom rendimento desta cultura está relacionado a áreas com umidade relativa do ar acima de 40% e temperatura diurna / noturna de 25 a 15 °C. Como a umidade relativa do ar é um fator crucial para a sobrevivência da palma forrageira, aliada às altas temperaturas noturnas observadas em algumas regiões do semiárido, podem justificar a baixa produtividade ou mesmo a morte da palma forrageira (Edvan et al., 2020).

O nitrogênio é um dos principais reguladores da fotossíntese, aumentando o acúmulo de água e a eficiência do uso da água (Cunha et al., 2012). Outro fato que pode ter contribuído para esse resultado é a adaptabilidade da palma forrageira. Lopes et al. (2018) apontaram que a palma forrageira apresenta bom desempenho em regiões secas do mundo por apresentar características bioquímicas, anatômicas, morfológicas e fisiológicas adaptadas aos rigores climáticos dessas regiões. É uma cultura com alto potencial produtivo nessas regiões, além de alta tolerância às condições áridas e semi-áridas, pois possui fotossíntese do tipo CAM e alta eficiência no uso da água (Silva et al., 2014).

As cultivares 'Orelha de Elefante Mexicana' (*O. stricta*), 'Miúda' (*N. cochenillifera*) e 'Copena' (*O. ficus-indica*) são as mais eficientes no uso da água, sendo, portanto, as mais indicadas para cultivo em ambientes com restrição hídrica (Ramos et al., 2021). De acordo com Moreira et al. (2020), sob estresse hídrico, as plantas fecham seus estômatos, reduzindo a

perda de água pela transpiração, porém, esse mecanismo causa baixa regulação das taxas de fotoassimilados.

Mesmo com o maior desenvolvimento da palma forrageira, obtendo-se aumento da área do cladódio e da altura das plantas com maiores teores de nitrogênio, houve redução de 50% na eficiência de uso do nitrogênio com o nível de 240 kg ha⁻¹, quando comparado ao nível mais baixo, 60 kg ha⁻¹. Há falta de resposta do EUA em espécies forrageiras em ambiente seco, pois a baixa disponibilidade de água impõe menor eficiência no uso de nutrientes, principalmente nitrogênio, por ser um nutriente que se perde facilmente no solo (Moreira et al. ., 2020).

Com relação às modificações no valor nutritivo da palma forrageira, observou-se que os valores de CNF no segundo ano para a palma adubada com ureia foram superiores (399,1 g kg⁻¹ MS) aos encontrados por Leite et al. (2018) para a palma Doce com 355,6 g kg⁻¹ MS de CNF. A superioridade de CNF observados no segundo ano influenciou na maior fração A+B1 dos carboidratos, visto que esta fração é composta basicamente por carboidratos solúveis e de fácil utilização pelos microrganismos ruminais.

No Ano I houve maior concentração de carboidratos fibrosos, que são os estruturais, necessários ao desenvolvimento e sustentação da planta, e no Ano II, maior concentração de CNF (reservas de carboidratos).

O teor de FDN observado foi superior ao encontrado por Edvan et al. (2020) quando avaliaram a palma forrageira em uma região de savana brasileira de latossolo amarelo com teor médio de argila. Os autores observaram um valor de FDN de 196,3 g kg⁻¹ de MS e um valor de CNF de 571,4 g kg⁻¹ de MS. As variações nos teores dessas frações de carboidratos estão intimamente relacionadas ao desenvolvimento da planta, pois no presente estudo as plantas obtiveram maior altura e área de cladódio do que as observadas por Edvan et al. (2020).

Com o aumento no crescimento e desenvolvimento dos cladódios, a planta necessita de maior quantidade de carboidratos de sustentação, como a celulose e hemicelulose, com isso, ocorrem essas variações no teor de FDN, que é composta principalmente por esses dois carboidratos estruturais. Além disso, de acordo com Alves et al. (2016), os fatores genéticos, condições ambientais de crescimento, solo, cultivo, período de coleta, estresse e idade das plantas contribuem para as diferenças na composição química no gênero *Nopalea*.

A maior quantidade de minerais na palma forrageira no Ano I está relacionada à menor disponibilidade de chuvas nesse período de 955,95 mm, sendo que no Ano II foi de

1.323,4 mm (Figura 1). Sendo observado teores consideráveis de matéria mineral, com maior concentração de cálcio, potássio e magnésio. Além disso, as variações nesta composição são observadas de acordo com a espécie, idade, época do ano, manejo da cultura, localização da cultura e estágio fisiológico do cladódio (Dubeux Júnior et al., 2010). Em estudo desenvolvido por Alves et al., (2016) ao avaliarem a variabilidade, correlação e importância das características químicas e nutricionais da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*), observaram que existe uma correlação positiva entre o zinco e a proteína bruta uma vez que o zinco faz parte de muitas proteínas; em muitas enzimas, esse íon metálico é necessário no sítio ativo (anidrase carbônica, superóxido dismutase, álcool desidrogenase, glutamato desidrogenase).

Esse trabalho indica que a ureia protegida, em latossolo amarelo com médio teor de argila, nessas condições climáticas apresentou menor eficiência para o cultivo da palma forrageira em relação à ureia convencional. É importante ressaltar que o uso de ureia protegida tem que ser economicamente viável, sendo necessário que o aumento da eficiência resulte em ganhos de produtividade que compensem o investimento em um produto de maior custo, possibilitando a substituição das fontes convencionais (Veçozzi et al., 2018). Embora as concentrações de CT, CNF e FDN tenham sido modificadas, no entanto, as DIMS e DIVMO não foram alteradas. Mostrando que as respostas aos parâmetros agrônômicos da palma miúda foram proporcionais ao aumento da dose de N, a melhor dose 240 kgN ha⁻¹.

5. Conclusões

O uso da ureia convencional promove melhores resultados para as características agronômicas e nutricionais da palma forrageira, variedade Doce, cultivada em Latossolo amarelo com médio teor de argila em região da savana brasileira, em regime de sequeiro, quando comparado com o uso da ureia protegida por polímeros.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa e ao Núcleo de Estudos em Culturas Forrageiras (NUEFO) do CPCE / UFPI pelo apoio concedido.

6. Referências

- Almeida HA, Soares ERA, Santos Neto JA and Pinto IO** (2019) Social and Productive Indicators of Forage Palm and the Survival of Livestock Activity in the Semi-arid Region of Northeastern Brazil. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research* **01**, 1-12.
- Alves FAL, Andrade AP, Bruno RDLA, and Santos DC** (2016) Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia and Nopalea*). *African Journal of Agricultural Research* **11**, 2882-2892.
- Alves FGS, Carneiro MSS, Edvan R L, Candido MJD, Furtado RN, Pereira ES, Neto LBM, Mota RRM, and Nascimento KS** (2018) Agronomic and nutritional responses of Carajas elephant grass fertilized with protected and non-protected urea. *Semina. Ciências Agrárias* **39**, 2181.
- AOAC** (2012). Association of Official Analytical Chemistry. *Official methods of analysis*. MD: AOAC International Gaithersburg, (19th ed).
- Araújo AP and Machado CTT** (2006). Fósforo. In: Fernandes, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa: SBCS, 253-280.
- Barbosa HAL and Kumar TV** (2016) Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments* **124**, 377–387.
- Barbosa MM, Detmann E, Rocha GC and Franco MDO** (2015) Evaluation of laboratory procedures to quantify the neutral detergent fiber content in forage, concentrate, and ruminant feces. *Journal of AOAC International* **98**, 883-889.
- Bernardi A, Silva AWL and Baretta D** (2018). Meta-analytic study of response of nitrogen fertilization on perennial summer grasses. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* **70**, 545-553.
- Bloom, AJ** (2015) The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources. *Current opinion in plant biology* **25**, 10-16.
- Cavalcante, LAD, Santos, GRDA, Silva, LMD, Fagundes, JL, Silva, MAD** (2014) Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **44**, 424-433.
- Civardi EA, Silveira Neto AN, Ragagnin VA, Godoy ER and Brod E** (2011) Slow-release urea applied to surface and regular urea incorporated to soil on maize yield. *Pesquisa Agropecuária Tropical* **41**, 52-59.
- Cortázar VG and Nobel PS** (1991) Prediction and measurement of high annual productivity
- Costa-Coutinho JM, Jardim MA, Castro AJF, and Viana-Junior AB** (2019) Biogeographic connections of Brazilian savannas: partition of marginal and

disjunct diversity and conservation of northern ecotonal tropics in a biodiversity hotspot. *Revista Brasileira de Geografia Física* **12**, 2407-2427

Cunha DNFV, Gomes ES, Martuscello JA, Amorim PL, Silva RC and Ferreira PS (2012). Morphometric and biomass accumulation in small cactus pear grow under nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* **13**, 1156-1165.

Donato PER, Pires AJV, Donato SLR, Bonomo P, Silva JA and Aquino AA (2014). Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* **9**, 151-158.

Dubeux Júnior JCB, Araújo Filho JT, Santos MVF, Lira MA, Santos DC and Pessoa RAS (2010) Mineral fertilization effect on growth and chemical composition of cactus pear –clone IPA 20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* **5**, 129-135.

Edvan RL and Carneiro MSS (2019) *Palma forrageira: cultivo e uso na alimentação animal*. 1. ed. Curitiba: Appris, 93p.

Edvan RL, Mota RRM, Silva TPD, Nascimento RR, Sousa SV, Silva AL, Araujo MJ and Araujo JS (2020) Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. *Scientific Reports* **10**, 1-10.

Eman E, Saleh MMS and Mostafa EAM (2009) Effect of urea-formaldehyde as a slow release nitrogen fertilizer on productivity of mango trees. *Green Farming* **2**, 592-595.

Fernandes GST, Lima EA, Lopes PMO, Silva DAO, Santos A and Silva TTF (2020). Classificação climática e aptidão agrícola para Bom Jesus-PI em diferentes cenários climáticos. *Journal of Environmental Analysis and Progress* **05**, 038-048.

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

Frazão JJ, Silva ÁR, Silva, VL, Oliveira VA and Corrêa, Rubia S (2014) Enhanced efficiency nitrogen fertilizers and urea in corn. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **18**, 1262-1267.

Gaspari MC, Pontelli ME and Biffi VHR (2020) Polygenetic nature of latossolo Bruno in extensive levels in the Middle West Catarinense – Araucária Plateau. *Geografia Ensino & Pesquisa* **24**, 1-23.

Grant CA, Wu R, Selles F, Harker KN, Clayton, GW, Bittman S, Lupwayi, NZ (2012) Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. *Field Crops Research* **127**, 170-180.

Lehmann CER, Anderson TM, Sankaran M, Higgins SI, Archibald S and Hoffmann, W (2014). Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents. *Science*, 343, 548-52.

- Leite JRA, Sales ECJD, Monção FP, Guimarães ADS, Rigueira JPS and Gomes VM** (2018) Nopalea cactus pear fertilized with nitrogen: morphometric, productive and nutritional characteristics. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* **40**.
- Lima AS, Silva PF, Matos RM, Bonou SI and, Dantas Neto, J** (2020) Determination of the cladode area and correction factor of the forage palm under nitrogen fertirrigation. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, **14**, 3803–3815.
- Lopes MN, Cândido MJD, Gomes ECG, Pompeu RCF F and Silva RG** (2018) Biomass flow and water efficiency of cactus pear under different managements in the Brazilian Semiarid. *Revista Ciência Agronômica* **49**, 324-333.
- Lopes, EB, Costa, LB, Cordeiro Júnior, AF, Brito, CH** (2013) Rendimento e aspectos fenológicos de espécie de palma forrageira em relação ao cultivo com dois tipos de cladódios. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, **7**, 59- 61.
- Mertens DR** (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. *Journal of AOACInternational* **85**, 1217-1240.
- Moreira JM, Pérez-Marin AM, Araújo JS, Lambais GR and Sales AT** (2020) Nutrients demand of cactus forage. *Revista Brasileira de Geografia Física* **13**, 8111-8020.
- Muir JP, Pitman WD, Foster JL and Dubeux JrJ C** (2015) Sustainable intensification of cultivated pastures using multiple herbivore species, *African Journal of Range & Forage Science* **2**, 97-112
- Nascimento KS, Edvan RL, Gomes NS, Ratke RF and Carvalho C BM** (2020) Evaluation of Application Frequency and Levels of Nitrogen on Cactus Pear. *Journal of Agricultural Studies* **8**, 859-870.
- Neto JP, Soares PC, Batista AMV, Andrade SFJ, Andrade RPX, Lucena RB and Guim A** (2016) Balanço hídrico e excreção renal de metabólitos em ovinos alimentados com palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). *Pesquisa Veterinária Brasileira* **36**,322-328.
- Noellsch, AJ Motavalli PP, Nelson KA and Kitchen NR** (2009) Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. *Agronomy Journal* **101**, 607-614.
- Nova SDRMV, Barros JG, Paixão AEA, Tonholo J and Uchoa SBB** (2017) Forage palm:evidence of economic utilization. *Cadernos de prospecção* **10**, 738.
- Osman SM and El-Rahman AEM** (2009). Effect of slow release nitrogen fertilization on growth and fruiting of guava under Mid Sinai conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* **3**, 4366-4375.

- Ramos JPF, Macêdo AJS, Santos EM, Edvan RL, Sousa WH, Perazzo AF, Silva AS and Cartaxo FQ** (2021) Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. *Acta Scientiarum. Agronomy* **43**, e51214.
- Ratke Rf, Campos AR, Inda AV, Barbosa RS, Silva YJAB, Nobrega JCA and Silva JBL** (2020) Agricultural potential and soil use based on the pedogenetic properties of soils from the Cerrado-caatinga transition. *Semina-Ciencias Agrarias* **41**, 1119–1134.
- Rodrigues MÂ, Santos H, Ruivo S and Arrobas M** (2010) Slow-release N fertilizers are not an alternative to urea for fertilization of autumn-grown tall cabbage. *European Journal of Agronomy* **32**, 137-143.
- Sangoi L, Ernani PR, Lech, VA and Rapazzo C** (2003) Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Ciência Rural* **33**, 65-70.
- Santos DC, Santos MVF, Farias I, Dias FM and Lira MA** (2001) Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira *Opuntia* e *Nopalea*. *Revista Brasileira de Zootecnia* **30**,12-17.
- Santos EM, Silva Júnior GBD, Cavalcante ÍHL, Marques AS and Albano FG** (2016).Planting spacing and NK fertilizing on physiological indexes and fruit production of papaya under semiarid climate. *Bragantia* **75**, 63-69.
- Santos, S. M., & Farias, M. M. M. W. E. C.** (2017). Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production* **164**, 1007-1015.
- Schefer A, Cipriani K, Cericato A, Sordi A and Lajús CR** (2016). Eficiência técnica e econômica da cultura da soja submetida à aplicação de fertilizantes nitrogenados em semeadura e cobertura. *Scientia Agraria* **17**, 14-20.
- Siddiqi MY and Glass ADM** (1981). Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition* **4**,289-302.
- Silva FC** (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2.ed. Embrapa informação Tecnológica, Brasília.
- Silva LMD, Fagundes JL, Viegas PAA, Muniz EN, Rangel JHDA, Moreira AL and Backes, AA** (2014) Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural* **44**, 2064-2071.
- Silva, KB, Oliveira, JS, Santos, EM, Ramos, JPF, Cartaxo, FQ, Givisiez, PEN, Zanine, MA** (2021) Cactus Pear as Roughage Source Feeding Confined Lambs: Performance, Carcass Characteristics, and Economic Analysis. *Agronomy*, 11, **4**, 625-635.

- Skonieski FR, Viégas J, Martin TW, Nornberg JL, Meinerz GR, Tonin TJ, Bernhard and Frata, MT** (2017) Effect of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization rates on maize plant yield and silage quality. *Revista Brasileira de Zootecnia* **46**, 722-730.
- Sniffen CJ, O'connor JD, Van Soest PJ, Fox, DG and Russell JB** (1992) A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* **70**, 3562-3577.
- Soratto RP, Silva ÂHD, Cardoso SDM and Mendonça CGD** (2011) Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. *Ciência e Agrotecnologia* **35**, 62-70.
- Souza MP, Coutinho JMDCP, Silva LS, Amorim FS and Alves AR** (2017) Composição e estrutura da vegetação de caatinga no sul do Piauí, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* **12**, 210-217.
- Taiz L and Zeiger E** (2017) *Fisiologia vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 918.
- Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A and Teixeira WG** (2017). *Manual de métodos de análises de solos*. 3a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 573p.
- Thorthwaite CW and Mather JR** (1955) *The water balance*. New Jersey: Drexel Institute of Technology. p. 104.
- Tilley JMA and Terry RA** (1963) A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* **18**, 104-111.
- Tognon AA, Demattê JLI and Demattê JAM** (1998) Organic matter content and distribution of amazonian and "Cerrado" latosols. *Scientia Agricola* **55**, 343-354.
- Valente TNP, Detmann E, Valadares Filho SD C, Cunha, M D, Queiroz ACD and Sampaio C B** (2011). In situ estimation of indigestible compounds contents in cattle feed and feces using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia* **40**, 666-675.
- Van Soest PV, Robertson JB and Lewis BA** (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science* **74**, 3583-3597.
- Veçozzi TA, Sousa RO, Scivittaro WB, Weinert, C and Tarril VRC** (2018) Soil solution and plant nitrogen on irrigated rice under controlled release nitrogen fertilizers. *Ciência Rural* **48**, 1-5.

CAPITULO III-

**Associação entre doses de potássio e ureia protegida no potencial forrageiro de palma
em solo de savana brasileira**

Journal Polymers

(www.mdpi.com/journal/polymers)

Magalhães, R. M. F. **Associação entre doses de potássio e ureia protegida no potencial forrageiro de palma em solo de savana brasileira.** 2021. p.132. (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

Resumo

O potássio é o macronutriente mais encontrado em cladódios de palma forrageira e a interação entre a adubação nitrogenada e potássica pode influenciar na absorção de nutrientes e seu acúmulo na planta. O uso de ureia protegida, que proporciona uma liberação lenta de nitrogênio, pode potencializar essa interação, e com isso o desenvolvimento e valor nutritivo da palma forrageira em ambientes com elevada irregularidade de chuvas. Dessa forma, objetivou-se avaliar a associação de doses de potássio e nitrogênio, na forma de ureia protegida, em dois anos de colheita em relação às características produtivas e valor nutritivo de *Nopalea cochinillifera* cv. Doce, em savana brasileira em condições de sequeiro. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial $2 \times 4 \times 2$, com 4 repetições, onde os fatores corresponderam a duas doses de potássio (K1 - dose de recomendação com 40 kg potássio $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e K2 + 50% da dose de recomendação com 60 kg potássio $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, na forma de ureia protegida) e duas colheitas (Ano I e Ano II). As plantas foram avaliadas aos 12 e 24 meses após o plantio, quanto às características de: crescimento, produção, composição química, mineral e valor nutritivo. A adubação nitrogenada proporcionou efeito positivo sob todas as variáveis de crescimento da desta cultura, exceto sobre o conteúdo fibroso e no total de carboidratos da planta. No Ano I de avaliação foi observado redução na quantidade de Ca e Mg na palma forrageira, enquanto no Ano II foi observado maior teor de P. A dose K2 no solo refletiu em maior teor de K na planta, nos dois anos de colheita. As doses de potássio não influenciaram as características produtivas e nutricionais da palma, sendo a dose de 40 kg de $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de potássio associada a 240 kg de $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de N na forma de ureia protegida proporcionou melhor resultado para características de crescimento e produção avaliadas na palma forrageira responderam positivamente quanto ao acréscimo das doses de N no solo da dose 0 para 240 kg de N ha^{-1} , aumentando em 106% no NC, 20,5% na AC, 42,5% na AP, 164,5% na PMV; 154% na PMS, 154% na QA, 42% EUA, 90,5% no ACA da palma forrageira cv. Doce cultivada na região de savana brasileira em cultivo de sequeiro.

Palavra-chave: Adubação Potássica, Ureia protegida, *Nopalea cochinillifera*.

Magalhães, R. M. F. **Association between doses of potassium and urea protected by polymers in the forage potential of palm in Brazilian savanna soil.** 2021. p.132 (PhD in Animal Science) - Federal University of Piauí, Teresina, 2021.

Abstract

Potassium is the most common macronutrient found in cactus pear cladodes and the interaction of nitrogen and potassium fertilization can influence nutrient absorption and accumulation in the plant. The use of protected urea, which provides a slow release of nitrogen, can enhance this interaction, and with it the development and nutritional value of cactus pear in environments with high rainfall irregularity. Thus, the objective was to evaluate the association of doses of potassium and nitrogen, in the form of protected urea, in two years of harvest in relation to the productive characteristics and nutritive value of *Nopalea cochinillifera* cv. Sweet, in Brazilian savannah in dry conditions. A randomized block design was adopted, in a $2 \times 4 \times 2$ factorial arrangement, with 4 replications, where the factors corresponded to two potassium doses (K1 - recommendation dose with 40 kg potassium ha⁻¹ year⁻¹ and K2 + 50 % of the recommended dose with 60 kg potassium ha⁻¹ yr⁻¹), four nitrogen rates (0, 60, 120 and 240 kg ha⁻¹ yr⁻¹, in the form of protected urea) and two crops (Year I and Year II). Plants were evaluated at 12 and 24 months after planting for growth characteristics, production, chemical and mineral composition, and nutritional value. Nitrogen fertilization provided a positive effect on all growth variables of this crop, except for the fibrous content and total carbohydrates of the plant. In Year I of evaluation, a reduction in the amount of Ca and Mg in cactus pear was observed, while in Year II a higher P content was observed. Potassium doses did not influence the productive and nutritional characteristics of the palm, and the dose of 40 kg ha⁻¹ year⁻¹ of potassium associated with 240 kg of ha⁻¹ year⁻¹ of N in the form of protected urea provided the best result for growth and production characteristics evaluated in cactus pear responded positively to the increase of N doses in the soil from dose 0 to 240 kg of N ha⁻¹, increasing by 106% in NC, 20.5% in CA, 42.5% in PH, 164.5% in PGM; 154% in PDM, 154% in NA, 42% in the EUW, 90.5% in the AW of cactus pear cv. Sweet cultivated in the region of the Brazilian savanna in dry land.

Key word: Potassium fertilization, Protected Urea, *Nopalea cochinillifera*..

1. Introdução

O Cerrado é conhecido como savana tropical brasileira, representa o segundo maior bioma do país (Bacerra et al., 2009). É um complexo de formações vegetais, que apresenta fisionomias e composição florística variáveis, sendo rica em biodiversidade, com diferentes ecossistemas, de campo limpo ao Cerradão, e flora com diferentes espécies de plantas (Abadio Finco et al., 2012). Essa região possui características de eventos climáticos extremos, como chuvas torrenciais que causam inundações e períodos secos. A estação chuvosa é imprevisível, sendo variáveis as quantidades e intensidade das precipitações entre os anos (Nascimento et al., 2020).

Em ambiente com irregularidade na distribuição das chuvas é necessário avanços no desenvolvimento de metodologias para melhorar a eficiência de uso da água no sistema agrícola (Lacerda et al., 2016), objetivando explorar de forma sustentável esse ambiente (Andrade et al., 2010). Nesse sentido, o cultivo de plantas com menores exigências hídricas, como exemplo a palma forrageira, que possui adaptação a irregularidade e escassez de chuvas, pode ser uma boa opção (Rocha et al., 2017), tendo em sua composição um elevado teor de umidade, minerais e composição química favorável à nutrição animal, em especial nos ambientes secos, sendo a principal fonte alimentar dos ruminantes nestas regiões (Cavalcante et al., 2014).

A utilização de adubos minerais na palma forrageira possibilita a reposição dos nutrientes extraídos pelas plantas durante o seu desenvolvimento, contribuindo para o aumento da produtividade (Silva et al., 2014). Tanto o nitrogênio quanto o potássio são indispensáveis para a nutrição das plantas sendo o nitrogênio um constituinte essencial das proteínas e interfere diretamente no processo fotossintético, já o potássio, tem importantes funções fisiológicas e metabólicas na planta, além de ter ação na absorção de nitrogênio e síntese proteica (Kawavata et al., 2017) é o nutriente mais absorvido pela palma forrageira, e a interação do nitrogênio e potássio facilita a absorção de ambos (Cunha et al., 2012).

A palma forrageira responde a adubação nitrogenada (Lima et al., 2020; Nascimento et al., 2020). As perdas de nitrogênio podem ocorrer devido à volatilização e lixiviação do nitrogênio (Noellsch et al., 2009), e em solos arenosos são maiores (Sangoi et al., 2003), mas podem ser reduzidas através da fonte de nitrogênio que é utilizada. A ureia, nitrato de amônia e sulfato de amônia são bastante utilizados nos cultivos, no entanto são mais propensas a perdas (Santos et al., 2016), sendo a ureia protegida por polímeros uma alternativa para reduzir as perdas de nitrogênio (Rodrigues

et al., 2010; Grant et al., 2012). A ureia protegida por polímeros minerais tem o potencial de liberar lentamente o nitrogênio no solo, aumentando seu uso eficiente pelas plantas ao longo do cultivo (Grant et al., 2012). Essa liberação lenta associada a uma elevada dose de potássio no solo pode contribuir para um melhor desempenho da cultura forrageira.

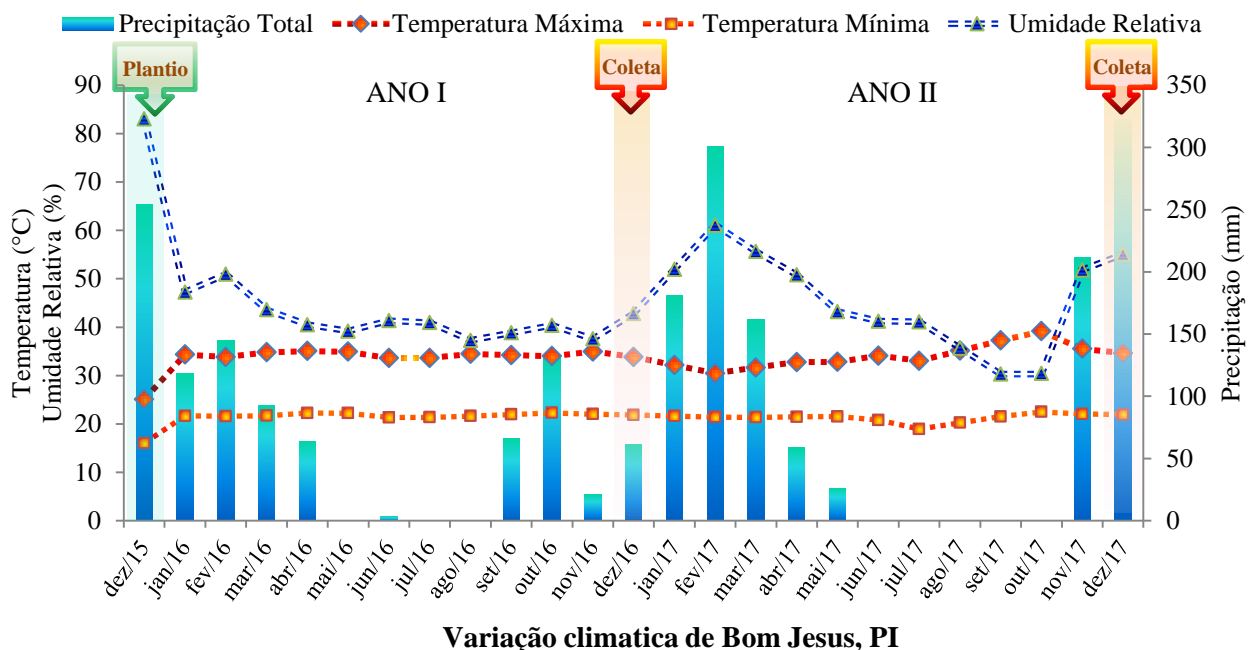
Tendo em vista a importância do cultivo da palma forrageira em ambientes com elevada irregularidade de chuvas, a análise dessa planta com adubação associada entre nitrogênio e potássio contribuirá para a oferta de informações dessa cultura nesses ambientes. Dessa forma, é hipotetizado que a maior dosagem de potássio associada a maior dosagem de nitrogênio fornecida na forma de ureia protegida por polímeros irá promover maior desenvolvimento e melhor composição nutricional da palma forrageira cv. Doce em cultivo de sequeiro em savana brasileira. Objetivou-se avaliar a influência da associação de diferentes doses de potássio com diferentes doses de nitrogênio fornecido na forma de ureia protegida por polímeros, nas características de crescimento, produção, composição química e mineral, e valor nutritivo de *Nopalea cochenillifera* cv. Doce durante dois anos, cultivadas em savana brasileira em condições de sequeiro.

2. Material e Métodos

2.1. Localização do experimento

O experimento foi realizado no período de dezembro de 2015 a dezembro de 2017, no município de Bom Jesus, Piauí, Brasil, localizado na latitude de 09° 04' 28" Sul e a longitude de 44° 21' 31" Oeste, com altitude de 277m. O clima é do tipo Aw (clima tropical com estação seca de inverno) segundo o modelo da classificação de Köppen. A vegetação da região é o Cerrado, equivalente à savana brasileira (Costa-Coutinho et al., 2019). Os dados referentes à precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e temperatura máxima e mínima durante o período experimental no ano de 2015 a 2017, encontram-se na Figura 1.

Figura 1. Médias mensais de temperaturas e umidade relativas, precipitação total acumulada mensal, durante o período de cultivo de *Nopalea cochenillifera* variedade



Fonte: <http://www.inmet.gov.br>. Estação: 83919, Bom Jesus, Piauí, Brasil.

O solo do local do experimento foi classificado como Typic Haplustox (Soil Survey Staff) e Latossolo Amarelo distrófico Típico de acordo com Brazilian Soil Survey (Ratke et al., 2020). Sendo que a maior parte dos solos da região são oriundos da bacia sedimentar do Parnaíba (Souza et al., 2017). Foram feitas análises físicas e químicas do solo seguindo a metodologia de Teixeira et al. (2017). O solo apresentou as seguintes características: Areia: 709 g kg⁻¹, Silte: 34 g kg⁻¹, Argila: 257g kg⁻¹; pH (H₂O)=5,5; Matéria Orgânica=1,05g kg⁻¹; P =74,50 mg dm⁻³; K⁺=127,0 mg dm⁻³; Ca²⁺

=1,68 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ =0,77cmol_c dm⁻³; Al=0,10 cmol_c dm⁻³; H+Al=1,94 cmol_c dm⁻³; Soma de Bases= 2,78cmol_c dm⁻³; CTC= 4,72 cmol_c dm⁻³, V=59%, m=0,0%, sendo a classe textural franco-argiloarenosa.

2.2. Modelo do experimento

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial de 2 × 4 × 2, com 16 repetições por tratamento (quatro blocos × quatro plantas). Os fatores corresponderam de duas doses de potássio (K1 - dose de recomendação e K2 - + 50% da dose de recomendação), quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ ano) e de dois períodos de avaliação (Ano I e Ano II).

2.3. Plantio e fertilização

O plantio da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) cv. Doce foi realizado com espaçamento de 1,5 m × 0,1 m entre plantas com uma densidade de 66.670 plantas ha⁻¹ em dezembro de 2015. Cada unidade experimental (parcela) continha 16 plantas, onde, foram avaliadas quatro plantas úteis por parcela no final de cada ano de avaliação (Ano I – 2016 e Ano II – 2017).

No início do experimento foi realizado o controle de plantas daninhas foi realizado com o auxílio de enxada; mas com o aumento destas, foi recorrido ao controle químico com Glyphosate[®] com 10 mL.L⁻¹ de água, que foi aplicado em jato dirigido nas entrelinhas da cultura, que foi aplicado quando foi necessário.

O solo foi adubado em dezembro de 2015 (adubação de plantio) e dezembro de 2016 (adubação de manutenção), seguindo as recomendações de Edvan e Carneiro (2019). A adubação fosfatada foi feita em cada ano utilizando 48 kg de fósforo ha⁻¹ na forma superfosfato simples (18% P₂O₅). A adubação com potássio (K₂O) também foi feita no mesmo período, utilizando 40 kg potássio ha⁻¹ (K1 – dose de recomendação) e 60 kg potássio ha⁻¹ (K2 - + 50% da dose de recomendação) na forma de cloreto de potássio (60% de K₂O), de acordo com o tratamento.

Nas adubações foi aplicado o nitrogênio utilizando como fonte o N⁺ (com fórmula, CH₄N₂O é o FH Nitro Mais[®], composto de ureia revestida com 0,15% Cu e 0,4% B, 100% solúveis, para evitar perdas de nitrogênio por volatilização) nas doses de 0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹, distribuídas nas parcelas de acordo com os tratamentos.

Devido a maior possibilidade de lixiviação desses nutrientes, pois é um solo com alto teor de areia, apresenta argila 1:1, além de óxidos de ferro e alumínio, a

adubação foi separada como acima descrita, para evitar a lixiviação do potássio na época mais chuvosa, pois na região a uma predominância de chuvas irregulares e concentradas.

2.4.Avaliação da produção, quantidade de animais alimentados com a produção, eficiência do uso do nitrogênio e acúmulo de água.

Foram realizadas duas colheitas para avaliação da palma forrageira, em cada colheita as plantas tinham um ano de cultivo, sendo a primeira ocorrendo em dezembro de 2016 e a segunda em dezembro de 2017. Antes de cada colheita foram avaliadas as características morfométricas da planta e logo após as características de produção, composição química e valor nutritivo das plantas. Realizou-se o corte dos cladódios na base do cladódio primário, em seu ponto de inserção na planta, conservando a planta mãe (matriz) para manter a perenidade da cultura (Edvan e Carneiro, 2019).

Ao final de cada ano de avaliação (Ano I e Ano II) as plantas foram avaliadas quanto às características morfométricas do cladódio e da planta e as características de produção, seguindo a metodologia descrita por Edvan e Carneiro (2019). As avaliações morfométricas não destrutivas foram: altura da planta, número de cladódio, comprimento e largura de cladódios. Para quantificar a altura e largura da planta foi utilizada uma fita métrica graduada em cm, com realização da medida na vertical, da base da planta até o ponto mais alto (altura) e na horizontal, de um ponto a outro da planta que apresentasse maior envergadura (largura), o número de cladódios foi obtido através da contagem dos mesmos. A área de cada cladódio (AC) foi determinada, conforme descrito por Cortázar e Nobel (1991), através da seguinte expressão: $AC = \text{Comprimento} \times \text{Largura} \times 0,632$.

Os rendimentos da cultura da palma forrageira foram baseados na colheita de cladódios de todas as plantas, ao final de cada ano de avaliação (Ano I e Ano II). Os pesos de todos os cladódios colhidos foram determinados em campo. A produção de massa verde (PMV) de forragem da palma forrageira variedade Doce foi determinada na colheita, em $t\ ha^{-1}$. Em seguida, uma amostra com cerca de 500 g da matéria verde foi retirada para realização das análises laboratoriais e determinação da massa seca. As amostras foram trituradas, para facilitar a secagem e secas em estufa com ventilação forçada a $65^{\circ}C$ até o material atingir peso seco constante, a fim de quantificar o teor de matéria seca (MS) pelo método 934.01, expresso em $g\ kg^{-1}$, de acordo com metodologia da AOAC (2012). Para a realização das análises químicas após a pré-secagem as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey com malha de 1 mm, e armazenadas

em recipientes plásticos bem fechados. Com o teor de matéria seca da planta foi possível calcular a produção de massa seca (PMS) de forragem, em t ha⁻¹.

Uma simulação foi realizada para saber o número de animais, que podem ser alimentados com a produção de palma forrageira resultantes dos diferentes níveis e fontes de adubação nitrogenada estudadas, produzidas em 1 (um) hectare. Para isso, foi utilizada como base uma dieta balanceada por Silva et al. (2021), testada em ovinos com idade média de 150 dias, não castrados, estipulando o ganho de peso médio de 200g animal dia⁻¹, com uma única fonte de volumoso, a palma forrageira (38,27% da dieta total), associada ao concentrado (61,43% da dieta total) composto por: farelo de trigo (71,53%), farelo de milho (18,47%), farelo de soja (6,83%), suplemento mineral (1,91%), cloreto de amônio (1,11%), ureia (0,13%), sulfato de amônio (0,01%).

Para a estimativa da quantidade de animais (QA) alimentados com a produção total de palma forrageira em kg MS ha⁻¹ (PPF), foi levada em consideração a média de peso de 22 kg PV, de cordeiros machos não castrados, o consumo (C) kg MS ha⁻¹A⁻¹ de 2,5% do PV e a ingestão de palma na medida de 382,69 g MS dia⁻¹, e o período de 62 dias de confinamento da dieta testada, foi realizada através da fórmula: $QA = PPF / [(PV \times 2,5\% \times IPF) \times DC]$. Onde QA: é a quantidade de animais alimentados com palma forrageira; PPF: é a produção total de palma forrageira em kg MS ha⁻¹ produzida durante o ano; C: Consumo em kg MS ha⁻¹A⁻¹ é dado pela relação entre o peso vivo à porcentagem de consumo baseada no peso vivo e a ingestão de palma forrageira kg MS A⁻¹. DC: Duração do consumo em dias.

Para calcular a eficiência e acúmulo de água foram utilizadas as fórmulas: eficiência do uso da água = $(MS \text{ t ha}^{-1} \div \text{Precipitação Acumulada em mm por mês}) \times 1000$; e a fórmula: Acúmulo de água = $[(t \text{ ha}^{-1} - MS \text{ t ha}^{-1}) \div \text{Precipitação Acumulada}] \times 1000$. Os valores de acúmulo de N foram obtidos através do teor de N na planta e a produção de massa seca (PMS) de forragem. Com os dados de PMS e acúmulo de N, foi calculada a eficiência de utilização de nitrogênio A eficiência do uso do nitrogênio (EUN), foi determinada pela razão relacionando o rendimento de MS kg⁻¹ha⁻¹ ao nível de N aplicado, através da fórmula: $EUN = (MS \text{ em t ha}^{-1} \times 1000) / \text{Dose de N ha}^{-1}$, sendo que a EUN é dada em (kg de MS dose N⁻¹).

2.5. Análise de composição química

As análises químicas foram realizadas determinando-se o teor de matéria seca (MS) a 105°C, proteína bruta (PB) (método 988.05) de acordo com os procedimentos da

AOAC (1998), e com base no N total, foi determinado o nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) segundo metodologias da AOAC (2012), e cinzas (CZ, método nº 942,05). As frações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), foram obtidas a partir da metodologia descrita por Mertens et al. (2002), adaptada para equipamento autoclave (105°C/60 min) (Barbosa et al., 2015), utilizando-se saquinhos de tecido-não-tecido (TNT; 100 g/m²) com tamanho 4×5cm e porosidade de 100µm (Valente et al., 2011). Após a determinação da FDN e FDA, procedeu-se a correção para cinzas e proteína. A fibra em detergente neutro (FDNcp) e a fibra em detergente ácido (FDAcp), corrigidos para cinza e proteína, e a lignina foram obtidas pelo método de Van Soest et al. (1991).

A matéria orgânica, celulose e hemicelulose foram calculadas pelas seguintes fórmulas: MO = 100 – cinzas, CEL = FDAcp – LIG e HEM = FDNcp – FDAcp. Os carboidratos totais (CT) foram determinados segundo a equação: CT = 100 - (%PB + %EE + %MM). Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram estimados segundo Hall (2000), CNF = 100 – (%PB + %EE + %MM). O fracionamento dos carboidratos que são classificados nas frações A+B1, B2 e C foram determinados pela metodologia de Sniffen et al. (1992), através das seguintes equações: A+B1 = 100 - (C + B2); B2 = FDNcp - C; C = %LIG × 2,4.

2.6.Determinação da energia bruta

Para determinação do teor de Energia Bruta foi utilizada a Bomba calorimétrica do laboratório de nutrição animal UFIPI/CPCE, modelo Parr 6400 CALORIMETER (Automatc Isoperibol Calorimet), nela a energia bruta é dada em cal.g⁻¹.

2.7.Degradabilidade *in situ*

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca e da matéria orgânica foi determinada pelo método adaptado de Tilley e Terry (1963), com incubação de 48 horas. Pesou-se 0,5g da amostra em utilizando-se saquinhos de tecido-não-tecido (TNT; 100 g/m²) com tamanho 4×5cm e porosidade de 100µm, os sacos foram selados a quente e colocados nos frascos (1000 mL de capacidade) de digestão da incubadora Daisy. Em seguida foi adicionado aproximadamente 1600 mL da solução tampão e 400 mL de líquido ruminal (coletado de animal doador). A inoculação dos tubos foi realizada com constante borbulhamento de CO₂ por 120 segundos, em seguida, transferidos para a incubadora e permaneceram por 48 horas a 39°C. Ao final da incubação, foram retirados os sacos dos

frascos, e lavados com água fria, após a lavagem, o material foi para o analisador de fibra e seguiu o procedimento para a determinação da fibra em detergente neutro (FDN). Para a obtenção da digestibilidade da matéria orgânica, os sacos foram queimados em forno mufla a 600°C por quatro horas.

2.8.Determinação de macro e microminerais

Para determinação dos macro e microminerais foi realizado a digestão nítrico-perclórica, após a digestão foi determinado o teor de fósforo (P) por espectrofotometria UV/VIS a 660nm, por meio de leitura de intensidade da cor azul do complexo fosfomolibdico produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico em espectrofotômetro modelo IL-592 EVEN[®]. Já os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), modelo AA240FS VARIAN[®], conforme metodologias descritas por Silva (2009), realizados no Centro de Análises de Solos do CPCE/UFPI.

2.9.Modelo estatístico

O modelo estatístico adotado foi: $Y_{ijkn} = \mu + D_i + F_j + T_k + DFT_{ijk} + \epsilon_{ijk}$, em que Y_{ijkn} = observação n, referente as doses de nitrogênio i, avaliados quanto a fonte j e no tempo k; μ = constante geral; D_i = efeito das doses de nitrogênio i, $i = 0, 60, 120, 240$; F_j = Fonte de nitrogênio avaliada j = ureia protegida e ureia convencional, T_k = tempo de avaliação da palma k, $k = \text{Ano I, Ano II}$; DFT_{ijk} = interação das doses de nitrogênio i versus as fontes de nitrogênio j versus tempo de avaliação palmas k; ϵ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação Y_{ijkn} .

Os dados foram submetidos à análise de variância e interação dos fatores em nível de significância de $P < 0,05$. Para análises das fontes de nitrogênio (ureia e ureia protegida por polímeros, N^+) e períodos de avaliação (Ano I e Ano II) foi utilizado o teste Tukey, para análise das doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg ha^{-1} ano) foi utilizado regressão, todas as análises foram realizadas com nível de significância de $P < 0,05$. Os dados foram analisados utilizando-se o software SISVAR versão 5.0 (Ferreira, 2011).

3. Resultados

Houve efeito de interação ($P < 0,01$) entre as doses de nitrogênio (N) × anos de colheitas para eficiência do uso da água (EUA) e acúmulo de água (ACA) (Tabela 1). Para o efeito isolado das doses de potássio foi observado efeito significativo apenas para altura da planta (AP), já para as doses de nitrogênio houve efeito ($P < 0,01$) para todas as variáveis agronômicas, número de cladódios (NC), área do cladódio (AC), altura da planta (AP), produção de massa verde (PMV), produção de massa seca (PMS), quantidade de animais (QA), eficiência do uso da água (EUA), acúmulo de água (ACA), e eficiência de utilização do nitrogênio (EUN).

Tabela 1. Análise de variância dos parâmetros agronômicos da palma forrageira sob diferentes dosagens de potássio e nitrogênio, em dois anos de colheita.

Variáveis	<i>P – valor</i>						
	K (D)	N (D)	Ano (A)	K × N	N × A	K × A	K × N × A
NC	0,959	<0,01*	0,646	0,758	0,798	0,966	0,994
AC	0,060	0,002*	0,643	0,113	0,194	0,923	0,777
AP	0,027*	<0,01*	0,794	0,520	0,992	0,576	0,929
PMV	0,302	<0,01*	0,890	0,143	0,987	0,890	0,987
PMS	0,989	0,012*	0,999	0,124	1,000	0,997	1,000
QA	0,318	<0,01*	0,133	0,261	0,929	0,916	0,992
EUA	0,588	<0,01*	0,079	0,746	<0,01*	0,582	0,605
ACA	0,813	<0,01*	<0,01*	0,844	<0,01*	0,238	0,424
EUN	0,917	<0,01*	0,300	0,094	0,898	0,784	0,876

K: doses de potássio; N: doses de nitrogênio; A: Ano: anos de colheitas; AC: área do cladódio; AP: altura da planta; PMV: produção de massa verde; PMS: produção de massa seca; EUA: eficiência do uso da água; ACA: acúmulo de água; QA: quantidade de animais; EUN: eficiência de uso de nitrogênio.

Com o aumento da dosagem de nitrogênio houve efeito linear crescente ($P < 0,01$) para a eficiência do uso da água e acúmulo de água na palma forrageira nos dois anos de colheitas, Tabela 2.

Tabela 2. Análise do efeito de interação entre doses de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros agronômicos da palma forrageira.

Ano	Doses de N (kg ha^{-1})				R^2	<i>P - Linear</i>	EPM
	0	60	120	240			
Acúmulo de água (t ha^{-1})							
I	53,4a	74,1a	88,3a	99,1a	90,0a	<0,01*	6,71
II	51,6a	69,7a	93,6a	100,8a	86,7a	<0,01*	
Eficiência do uso da água (kg MS mm^{-1})							
I	9,0a	10,4a	11,1a	13,1a	98,8	<0,01*	0,67
II	9,6a	9,6a	11,9a	13,3a	90,5	<0,01*	

Ano I: colheita no ano de 2016; Ano II: colheita no ano de 2017. EPM: erro padrão médio. Médias seguidas com letras minúsculas diferentes nas linhas para $p < 0,05$ pelo teste de média de Tukey. *Efeito linear a $p < 0,05$ na linha.

Com o aumento da dose de N de 0 kg N ha⁻¹ para 240 kg N ha⁻¹ o acúmulo de água na palma forrageira no Ano I foi de 45,7 t ha⁻¹ e no Ano II de 49,2 t ha⁻¹. Para a EUA houve um aumento de 45,5%, (4,1 kg MS mm⁻¹) no ano I e 38,5%, (3,7 kg MS mm⁻¹) no ano II.

Para o efeito isolado das duas doses de potássio foi observado efeito para a altura da planta, que a menor dose de potássio (40 kg potássio ha⁻¹) resultou em maior altura de planta (65,7 ± 1,5 cm) quando comparada a maior dose de potássio (60,6 ± 1,5 cm) utilizada neste experimento.

Todas essas variáveis de crescimento e produção avaliadas na palma forrageira aumentaram da dose 0 para 240 kg de N ha⁻¹, de 106% (8,9 unidades) no NC; 20,5% (17 cm²) na AC; 42,5% (22,2 cm) em AP; 164,5% (98,2 t ha⁻¹) na PMV; 154% (9,4 t ha⁻¹) na PMS; 154% (717,32 ovinos ha⁻¹) na QA; 42% (3,9 kg MS mm⁻¹) na EUA; 90,5% (47,5 t ha⁻¹) no ACA, com exceção da EUN na qual apresentou efeito decrescente em relação ao aumento das dosagens de nitrogênio, onde observou-se que da dose 60 kg de N ha⁻¹ para a dose 240 kg de N ha⁻¹, houve uma redução na EUN de 131%, 83,3 kg MS de palma por kg N aplicado no solo (Tabela 3).

Tabela 3. Análise do efeito isolado para às doses de nitrogênio nos parâmetros agrônômicos da palma forrageira, que não apresentaram interação.

Variáveis	Doses de N (kg ha ⁻¹)				R ²	P - Linear	EPM
	0	60	120	240			
NC	8,4	10,1	14,6	17,3	94,1	<0,01*	0,8
AC	82,4	86,7	90,9	99,4	89,2	<0,01*	3,4
AP	52,1	58,0	62,6	74,3	99,8	<0,01*	2,1
PMV	59,7	94,3	127,9	157,9	95,2	<0,01*	6,2
PMS	6,1	8,8	11,7	15,5	98,7	<0,01*	0,6
QA	467,4	674,3	896,6	1187,7	98,7	<0,01*	25,4
EUA	9,3	10,0	11,5	13,2	98,5	<0,01*	0,5
ACA	52,5	71,9	91,0	100,0	88,8	<0,01*	4,7
EUN	-	148,0	98,3	64,7	91,1	<0,01*	6,2

NC: número de cladódios (uni); AC: área do cladódio (cm²); AP: Altura da planta (cm); PMS: produção de massa seca (t ha⁻¹); PMV: produção de massa verde (t ha⁻¹); QA: quantidade de animais (ovinos ha⁻¹); EUA: Eficiência do uso da água (kg MS mm⁻¹); ACA: Acúmulo de Água (t ha⁻¹); EUN: Eficiência do uso do nitrogênio (kg MS palma kg N⁻¹) EPM: erro padrão médio; Efeito linear a p<0,05 na linha.

Na análise do valor nutritivo da palma forrageira verificou-se efeito de interação (P<0,05) entre as doses de potássio (K) × anos de colheita (Ano) somente para a variável do mineral potássio presente na planta. Houve efeito de interação (P<0,05) entre as doses de nitrogênio (N) × anos de colheita (Ano) para o teor de FDN, FDNcp, CNF, fração A+B1, Ca e Mg. Houve efeito isolado das doses de nitrogênio para EE,

PB, FDNcp, FDA e CT, CNF, fração A+B1 e ano de colheita para PB, MM, FDN, FDNcp, CT, CNF, A+B1, fração B2, fração C, P, K e EB (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância dos parâmetros nutricionais da palma forrageira sob diferentes dosagens de potássio e nitrogênio, em dois anos de colheita.

Variáveis	<i>P – valor</i>						
	K (D)	N (D)	Ano (A)	K × N	K × A	N × A	K × N × A
MS	0,922	0,092	0,324	0,715	0,564	0,559	0,154
EE	0,186	<0,01*	0,941	0,065	0,568	0,740	0,234
PB	0,347	<0,01*	0,028*	0,729	0,038	0,146	0,278
MM	0,132	0,132	<0,01*	0,512	0,592	0,704	0,497
FDN	0,123	0,081	0,005*	0,140	0,611	<0,01*	0,132
FDNcp	0,082	0,045*	0,003*	0,093	0,699	<0,01*	0,401
FDA	0,977	0,041*	0,104	0,120	0,776	0,489	0,157
LIG	0,840	0,082	0,532	0,103	0,457	0,698	0,569
NIDIN	0,704	0,098	0,919	0,769	0,081	0,701	0,539
CT	0,432	<0,01*	<0,01*	0,610	0,218	0,568	0,430
CNF	0,086	<0,01*	<0,01*	0,210	0,627	0,007*	0,306
A+B1	0,080	0,012*	<0,01*	0,241	0,742	0,003*	0,067
B2	0,309	0,102	0,021*	0,052	0,641	0,078	0,497
C	0,589	0,068	0,039*	0,070	0,246	0,710	0,352
DIVMS	0,095	0,667	0,763	0,337	0,138	0,450	0,367
DIVMO	0,059	0,823	0,925	0,414	0,091	0,439	0,514
Fósforo	0,084	0,153	0,013*	0,058	0,106	0,299	0,919
Potássio	0,863	0,554	<0,01*	0,726	0,043*	0,922	0,907
Cálcio	0,958	0,258	0,068	0,633	0,803	0,040*	0,818
Magnésio	0,623	0,261	0,018*	0,520	0,398	0,033*	0,856
Zinco	0,082	0,339	0,056	0,411	0,142	0,434	0,298
EB	0,441	0,074	<0,01*	0,876	0,482	0,866	0,401

K: doses de potássio; N: doses de nitrogênio; Ano: anos de colheitas; MS: matéria seca; EE: extrato etéreo; PB: proteína bruta; MM: matéria mineral; FDN: fibra em detergente neutro; FDNcp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDA: fibra em detergente ácido; LIG: lignina; NIDIN: nitrogênio insolúvel em detergente neutro; CT: carboidratos totais; CNF: carboidratos não fibrosos; fração A+B1; B2: fração B2; C: fração C; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVMO: digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; EB: energia bruta.

A palma adubada com 240 kg N ha⁻¹ teve um acréscimo no teor de FDN de 121,25 g kg⁻¹ MS e FDNcp de 93,67 g kg⁻¹ MS, em comparação com a dose 0. Por outro lado, no Ano II, os teores de FDN e FDNcp diminuíram com o aumento das doses de N (Tabela 5). Comparando os resultados obtidos nas doses em relação aos anos, só houve diferença significativa entre os anos apenas para as dose 120 e 240 kgN ha⁻¹, ambos com os maiores teores no Ano I, 23% e 28% de FDN respectivamente e 33% de FDNcp.

Tabela 5. Análise do efeito de interação entre doses de nitrogênio × anos de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira.

Ano	Doses de N (kg ha ⁻¹)				P - valor	R ²	EPM
	0	60	120	240			
Fibra em Detergente Neutro (g kg ⁻¹ MS)							
I	412,21a	500,42a	531,83a	533,45a	<0,01*	40,53	1,92
II	466,63a	470,94a	431,65b	417,00b	<0,01*	83,43	1,92
Fibra em Detergente Neutro corrigida para cinzas e proteína (g kg ⁻¹ MS)							
I	331,92a	397,62a	417,95a	425,57a	<0,01*	24,35	1,44
II	370,01a	373,31a	339,13a	319,28b	<0,01*	88,11	1,44
Carboidratos Não Fibrosos (g kg ⁻¹ MS)							
I	40,6a	30,1b	26,0b	27,6b	<0,01*	55,49	2,09
II	40,7a	38,6a	38,0a	37,1a	<0,01*	38,56	2,09
Fração A + B1 (g kg ⁻¹ MS)							
I	55,1a	42,2b	37,5b	41,4b	<0,01*	42,72	2,55
II	51,2a	52,7a	52,9a	56,9a	<0,01*	76,24	2,55
Cálcio (mg kg ⁻¹)							
I	28,7a	29,6a	21,2a	20,2a	<0,01*	59,70	2,59
II	24,7a	17,1b	21,9a	24,0a	-	-	2,59
Magnésio (mg kg ⁻¹)							
I	11,9a	11,8a	9,0a	8,5a	<0,01*	59,29	0,93
II	9,7a	7,0b	9,0a	9,9a	-	-	0,93

Ano I: colheita no ano de 2016; Ano II: colheita no ano de 2017. EPM: erro padrão médio. Médias seguidas com letras minúsculas diferentes na coluna para Ano de Colheita, a $p < 0,05$ pelo teste de média de Tukey. *efeito linear a $p < 0,05$ na linha.

Com relação aos anos de colheitas, os teores de CNF foram mais elevados no Ano II, com diferença significativa nas doses 60 120 e 240 kg N ha⁻¹, aumentando 8,5; 12 e 9,5 g kg⁻¹ MS, respectivamente. No Ano I os CNF nessas mesmas doses diminuiram 20, 32 e 25% em relação ao Ano II. Foi observado efeito linear decrescente ($P < 0,01$) na concentração de CNF em relação ao aumento das doses da ureia protegida na palma forrageira nos dois anos de colheitas, sendo que no Ano I a dose de 240 kg N ha⁻¹ apresentou uma redução de 32% (13 g CNF kg⁻¹ MS) em relação à dose sem N.

No ano II houve uma redução de 9% (3,6 g kg⁻¹ CNF MS). O mesmo ocorreu para a fração A+B1 em relação aos anos de colheitas, no Ano I, com o aumento do N no solo houve uma redução de 25% (13,7 g kg⁻¹ MS) em relação a dose 240 kg N ha⁻¹, entretanto, em relação ao aumento da dose de nitrogênio no Ano II o efeito foi crescente para o teor da fração A + B1, aumentando 11% (5,7 g kg⁻¹) na MS na dose 240 kg N ha⁻¹. Em relação aos anos de colheita só houve diferença significativa para as doses 60, 120 e 240 kg N ha⁻¹, para a fração A+B1 no Ano I apresentou para estas doses 20%, 29%, 27% a menos que o Ano II.

Os teores de Ca e Mg foram reduzidos com o aumento das doses de nitrogênio no cultivo da palma forrageira, por outro lado não houve efeito linear ($P>0,05$) para o Ano II. Os maiores teores de Ca e Mg foram encontrados nas plantas que receberam 60 kg N ha⁻¹ no Ano I, com 73% e Mg com 69% em relação ao Ano II (Tabela 5). Já em relação ao aumento das doses de N, de 0 para 240 kg ha⁻¹, houve uma redução de 30% de Cálcio, e 29% de Magnésio no Ano I.

Na interação entre anos de colheitas e doses de potássio (Tabela 6) foi observado maior teor de PB no Ano II com a menor dose de potássio (K1), obtendo 5,3 g PB kg⁻¹ MS, ou seja, 4% a mais que no Ano I. A concentração de PB foi maior ($P<0,05$) no ano II (3,7 g kg⁻¹ MS) na menor dose de K. Já no ano I não houve efeito da dose de K.

Tabela 6. Análise do efeito de interação entre doses de potássio × ano de colheita nos parâmetros nutricionais da palma forrageira.

Doses de K	Ano		EPM	CV
	I	II		
Proteína Bruta (g kg ⁻¹ MS)				
K1	94,1aB	99,4aA	0,11	4,28
K2	95,5aA	95,7bA		
Potássio (g kg ⁻¹)				
K1	41,1bA	26,9bB	1,71	2,02
K2	45,2aA	31,7aB		

Médias seguidas com letras minúsculas diferentes nas linhas para doses de K (K1 e K2) e com letras maiúsculas diferentes nas colunas para anos de colheita (Ano I e Ano II), a $p<0,05$ pelo teste de média de Tukey.

O maior teor de potássio na palma forrageira foi encontrado no Ano I de colheita, com a dose K2, 13,5 g K kg⁻¹ a mais quando comparado à mesma dose com o Ano II. Comparando os teores de potássio dentro de cada ano, a dose K1 apresentou 9% e 15,2% a menos de potássio quando comparada a dose K2. Nas doses K1 e K2, no Ano II, verificou-se um decréscimo de 65,4% e 70% respectivamente em relação ao Ano I.

Para o efeito isolado do aumento das doses de nitrogênio protegido com polímeros no cultivo da palma forrageira foi observado efeito linear crescente ($P<0,01$) para as concentrações de EE e PB (Tabela 7), do tratamento sem nitrogênio (0 kg ha⁻¹) para maior dose (240 kg ha⁻¹) ambos tiveram um acréscimo nas suas concentrações com 90% (18,5 g EE kg⁻¹ MS) e 61% (46,2 gPB kg⁻¹ MS) em sua concentração na planta. Ao contrário das variáveis FDA e CT que com acréscimo das doses de N tiveram efeito linear decrescente, reduzindo 10,4%, (26 g FDA kg⁻¹ MS) e 7%, 50,3 g CT kg⁻¹ MS, respectivamente.

Tabela 7. Análise do efeito isolado para às doses de nitrogênio nos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação.

Variável	Doses de N (kg ha ⁻¹)				R ²	P- valor	EPM	CV
	0	60	120	240				
EE (g kg ⁻¹ MS)	20,6	27,1	28,1	39,1	96,48	<0,01*	2,0	4,51
PB (g kg ⁻¹ MS)	75,3	81,2	106,6	121,5	93,42	<0,01*	1,1	4,28
FDA (g kg ⁻¹ MS)	251,5	245,0	238,5	225,5	40,17	<0,01*	9,9	4,33
CT (g kg ⁻¹ MS)	743,7	731,1	718,6	693,4	66,98	<0,01*	9,8	4,72

PB: Proteína Bruta; CT: Carboidratos Totais; CNF: Carboidratos Não Fibrosos. *Efeito linear a p<0,05 na linha.

Em relação ao efeito isolado das duas colheitas (Ano I e Ano II) na palma forrageira, o teor de MM ,fração B2 e fração C foi maior no Ano I, com 41% (53,2 g kg⁻¹ MS), 28% (58,5g kg⁻¹ MS), 13% 33,1g kg⁻¹ MS respectivamente, a mais que no Ano II (Tabela 8).

Tabela 8. Análise do efeito isolado para os anos de colheita dos parâmetros nutricionais da palma forrageira que não apresentaram interação.

Variáveis	Ano		EPM	CV
	I	II		
Matéria Mineral (g kg ⁻¹ MS)	182,6A	129,4B	5,7	8,10
CT (g kg ⁻¹ MS)	694,5B	748,9A	6,9	4,72
B2 (g kg ⁻¹ MS)	269,9A	211,4B	1,7	4,82
C (g kg ⁻¹ MS)	289,3A	256,2B	1,08	9,5
Fósforo (g kg ⁻¹ MS)	18,8B	21,5A	0,7	7,65
Energia (KJ.kg ⁻¹ MS)	767,6B	821,1A	4,5	2,78

Médias seguidas com letras maiúsculas diferentes na linha diferem para p<0,05 pelo teste de média de Tukey.

Para as concentrações de CT, fósforo e energia, os maiores valores foram obtidos no Ano II, com 54,4 g CT kg⁻¹ MS, 2,7 g P kg⁻¹ MS e 53,5 KJ, a mais que o Ano I.

4. Discussão

A hipótese de que maior dose de potássio associada a maior dosagem de nitrogênio fornecido na forma de ureia protegida por polímeros aplicado no cultivo de *Nopalea cochinillifera*, cv. Doce, em solos arenosos em condições de sequeiro em savana brasileira, proporcionaria maior crescimento, produção e qualidade nutricional em diferentes anos de colheita, foi refutada, pois a maior dose de potássio não refletiu em diferenças relevantes no potencial desta cultura. Esse resultado também foi obtido por Meneghette et al. (2019) e Cirino Júnior (2019), em que os teores de K testados não influenciaram no desenvolvimento das plantas em função do aumento das doses de K aplicadas.

Fernandes et al. (2020) ressaltaram que o período chuvoso da savana brasileira, em especial na cidade de Bom Jesus, Piauí, é reduzido aos meses de janeiro a março, com conseqüente presença de deficiência hídrica no solo na maior parte do ano (período seco) com elevada evapotranspiração potencial, devido as elevadas temperaturas. Nesse contexto, Fageria (1998) relatou que os nutrientes nos solos são absorvidos juntamente com a água, a redução ou falta de água no solo dificulta ou até cessa a absorção de nutrientes.

A aplicação de 40 kg K ha⁻¹ foi suficiente para obter os melhores resultados para as características produtivas e nutricionais no cultivo da palma doce enquanto a utilização de N protegido na dose de até 240 kg N ha⁻¹ estimulou o crescimento e melhoria da qualidade nutricional no cultivo da palma forrageira Doce. Taiz e Zeiger (2017) discorreram que melhoria nos índices produtivos e nutricionais da palma forrageira com aplicação de N ocorreu provavelmente devido ao estímulo do nitrogênio a nível celular, pois o nitrogênio tem a capacidade de estimular a divisão celular da planta promovendo a emissão de novos cladódios e conseqüentemente aumentando a produção de MS por área.

Com a aplicação da maior dose de potássio (60 kg K ha⁻¹) foi observada menor altura da planta, o que ocorreu provavelmente devido ao baixo efeito da adubação potássica em sistema de cultivo em sequeiro. O maior nível de K pode ter proporcionado maior estado de turgidez às células nos artícuos, influenciando no teor de MS e ACA, o que associado ao estresse hídrico pode causar o fechamento dos estômatos e assim perder menor quantidade de água por transpiração, o que conseqüentemente ocasiona uma redução na assimilação de CO₂ e redução da fotossíntese líquida, diminuindo o seu desenvolvimento (Taiz e Zeiger, 2017).

A adubação nitrogenada com ureia protegida proporcionou efeito positivo em todas as variáveis de crescimento da palma forrageira (Tabela 3). Esse comportamento era esperado, pois o nitrogênio participa do processo de divisão celular o que contribui para o desenvolvimento das características morfológicas da cultura (Kano et al., 2010), além de ser um dos principais reguladores da fotossíntese (Cunha et al., 2012). Com o estímulo da adubação nitrogenada as plantas aumentam a área dos cladódios e o número dos cladódios, o que aumenta a área fotossintética ativa da planta e isso se reflete na maior capacidade da planta em interceptar a luz solar e aumentar a produtividade líquida, para transformá-la de forma eficiente em produção de matéria seca (Donato et al., 2014).

O aumento da área de cladódios e do número de cladódios refletindo em maior produtividade da MS com as maiores doses de N, também foi observado por outros autores como Cunha et al. (2012), Padilha Junior et al. (2016) e Silva et al. (2016). Essas modificações nas características morfológicas ocasionadas pela presença do nitrogênio estão relacionadas com a capacidade desse nutriente em estimular a divisão celular, o que promove alterações na morfologia das plantas e, em condições de alto suprimento de N, ocorre maior crescimento e aumento na área foliar (Marschner, 2012).

A adubação foi efetiva em aumentar a eficiência de uso da água e a produtividade, isso é decorrente do maior crescimento da planta e acúmulo de biomassa, o que proporciona maior estrutura das raízes para absorver nutrientes, e acumular água. Em estudo avaliando a palma forrageira cv. Gigante adubada com $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ e $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O , Léo et al. (2019) observaram que essa combinação de adubos favoreceu a eficiência de uso da água, obtendo $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, resultado esse inferior ao deste estudo, no qual foi observado valor de $98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, demonstrando que a palma forrageira responde a alto nível tecnológico de adubação, com reflexos positivos para eficiência de uso da água, além do aumento da produtividade de MS.

O acúmulo e a eficiência no uso de água foram semelhantes nos dois anos de avaliação (Tabela 2), mesmo com menor precipitação acumulada no ano I (955,95 mm) em relação ao Ano II (1.323,4 mm) (Figura 1). Esse fato pode estar relacionado aos mecanismos adaptativos da palma forrageira ao ambiente com elevada variação hídrica no solo.

Em estudo realizado por Queiroz et al. (2015) não foi observado alterações significativas nas características morfológicas e produtivas da palma forrageira com

diferentes lâminas de irrigação. O sistema radicular estabelecido e as raízes que são produzidas para absorver água durante o período de maiores incidências de chuvas, favorecem a manutenção de quantidade de água suficiente para seu desenvolvimento (Lima et al., 2016). A eficiência do uso da água refere-se à relação direta da assimilação líquida de CO₂ e a condutância estomática; assim, para evitar desidratação excessiva a planta fecha os estômatos, fisiologicamente pode ser identificada como redução na condutância estomática (Taiz e Zeiger, 2017).

A adubação nitrogenada e o ano de avaliação foram os principais fatores que influenciaram no valor nutritivo da palma cv. Doce (Tabela 4). De maio a agosto do Ano I não houve precipitação, e as plantas precisam fazer uso de suas reservas, conseqüentemente diminuindo a sua produção. De acordo com Alves et al. (2016), as condições ambientais de crescimento, solo, cultivo, período de coleta, estresse e idade das plantas contribuem para as diferenças na composição química no gênero *Nopalea* de palma forrageira.

No primeiro ano de avaliação foi observado aumento nos teores de FDN e FDNcp (Tabela 5). Em estudo semelhante com ureia convencional, Edvan et al. (2020) obtiveram menores teores de FDN ao avaliarem a mesma espécie em região de savana brasileira com solos arenosos. Esse maior conteúdo fibroso ocorreu devido a quantidade de nitrogênio fornecido para planta que proporcionou aumento no crescimento e desenvolvimento da planta, dessa forma a planta necessitou de maior quantidade de carboidratos de sustentação, celulose e hemicelulose, com isso ocorre essas variações no teor de FDN, que é composta principalmente por esses dois carboidratos estruturais.

Os valores de CNF no ano II para a palma adubada com 240 kg N ha⁻¹ na forma de ureia protegida foram superiores aos encontrados por Leite et al. (2018) para a palma Doce com 355,6 g kg⁻¹ MS de CNF. Não é isso que está na tabela 5. Ao contrário da fibra esses carboidratos são fontes de imediato aproveitamento pelos microrganismos ruminais, sendo uma importante fonte de energia, principalmente para animais em condições de regiões áridas e semiáridas, onde a maioria das forrageiras entram em processo de maturação fisiológica e senescência, convertendo os nutrientes solúveis em componentes estruturais de baixa digestibilidade e disponibilidade energética (Pellegrini et al., 2016). Isso pode ser comprovado pela maior disponibilidade energética na forragem no segundo ano de avaliação que obteve 821,1 KJ de energia (Tabela 8).

No Ano I de avaliação foi observado redução na quantidade de Ca e Mg na palma forrageira com a adubação com ureia protegida (Tabela 5). Essa redução está

associada ao menor estágio de maturação da planta, pois no Ano I as plantas eram mais jovens com menor acúmulo de minerais residuais, que ficaram mais diluídos com o crescimento proporcionado com a adubação nitrogenada. É importante ressaltar que Ca é um dos nutrientes mais exportados pela cultura da palma e que altos níveis de Ca na parte aérea pode proporcionar acúmulo deste mineral na forma de oxalato (Dubeux Júnior et al., 2010).

A dose K2 no solo apresentou o maior teor de potássio na palma forrageira, nos dois anos de colheita, esse fato pode estar relacionado à quantidade de íon potássio (K⁺) no solo pela adubação da dose K2 que foi a maior (Tabela 6). Provavelmente pode ter ocorrido por este ser o macronutriente mais acumulado em cladódios de palma forrageira. O potássio é nutriente essencial para o desenvolvimento da planta, pois faz parte dos processos de transformação de energia luminosa em energia química, abertura estomática, fotossíntese, transporte de solutos no xilema e floema, regulação osmótica, balanço eletroquímico, além de ser cofator para atividades enzimáticas, síntese de proteínas e sinalização de estresses (Wakeel, 2013; Shabala e Pottosin, 2014). Apesar de não ter influenciado nas outras variáveis avaliadas, o K é um dos nutrientes mais exportados pela palma (Dubeux Júnior et al., 2010). O K pode alcançar até 10% do peso seco total das plantas (Coskun et al., 2013). Para suprir essa demanda é necessário quantidades relativamente altas deste mineral (Erel et al., 2015), dessa forma supomos que a menor dosagem de potássio (K1 - 40 kg K ha⁻¹) foi suficiente para atender as necessidades das plantas nas condições deste estudo.

O aumento da adubação nitrogenada aumentou o teor de PB na palma forrageira cv. Doce (Tabela 7), demonstrando uma relação com a concentração de N no solo e na palma forrageira, e está diretamente relacionado à maior disponibilidade de N no solo e a captação deste nutriente pelas raízes, Gomes et al, (2018) ressaltam que a elevada quantidade de N no solo pode fazer com que a planta ultrapasse a sua capacidade de metabolização do nitrogênio, possibilitando o acúmulo do nutriente na parte aérea da planta.

A adubação nitrogenada refletiu negativamente sobre o conteúdo fibroso e no total de carboidratos da palma forrageira (Tabela 7). Esse fato está relacionado ao desenvolvimento da área dos cladódios e ao acúmulo de água, fazendo que com os cladódios ficassem mais tenros e com menor acúmulo de fibra em relação aos outros nutrientes (Edvan et al., 2020), o que pode ser comprovado pela maior quantidade de carboidratos solúveis com o aporte de nitrogênio no solo e precipitação no segundo ano

de avaliação (Tabela 5). O baixo conteúdo fibroso da palma forrageira pode restringir a sua utilização como alimento, pois quando fornecida em maior quantidade sem acompanhamento de um alimento fibroso de qualidade, pode ocasionar distúrbios nutricionais, assim quanto menor o teor de fibra na planta maior será a necessidade de inclusão da mesma na dieta (Peixoto et al., 2018).

No segundo ano foi observado maior teor de P, 21,5 g kg⁻¹ MS (Tabela 8). A produção de qualquer espécie vegetal é influenciada pelos teores de N e P disponíveis e pela interação entre esses nutrientes no solo, pois são absorvidos concomitantemente, via simporte, por possuírem íons de carga oposta (Araújo e Machado, 2006). Dessa forma, o fornecimento de N e principalmente o incremento da precipitação pode ter favorecido o aumento na absorção de P.

As variações na composição mineral da palma forrageira podem ocorrer de acordo com a espécie, idade, época do ano e tratos culturais, local de cultivo e do estado fisiológico do cladódio (Dubeux Júnior et al., 2010). De acordo com Silva (2019) a composição mineral e química dos genótipos de palma forrageira apresenta variabilidade nos diferentes estádios fenológicos do cladódio e que o corte dos cladódios em estágio jovem e intermediário prioriza as maiores concentrações de minerais, proteína bruta e carboidratos não fibrosos.

5. Conclusões

As doses de potássio não influenciaram as características produtivas e nutricionais da palma, sendo a dose de 40 kg de ha⁻¹ ano⁻¹ de potássio associada a 240 kg de ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia protegida proporcionou melhor resultado para características de crescimento e produção avaliadas na palma forrageira responderam positivamente quanto ao acréscimo das doses de nitrogênio no solo da dose 0 para 240 kg de N ha⁻¹, aumentando em 106% no número de cladódios, 20,5% na área de cladódio, 42,5% na altura da planta, 164,5% na produção de massa verde; 154% na produção de massa seca, 154% na quantidade de animais alimentados com a produção de um hectare, 42% na eficiência do uso da água, 90,5% no acúmulo de água da palma forrageira cv. Doce cultivada na região da savana brasileira em sequeiro.

Agradecimentos

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo. Também agradeço ao apoio do Núcleo de Estudos em Forragicultura (NUEFO) do CPCE/UFPI.

6. Referências

- Abadio, F. D. B.; Silva, I. G.; Oliveira, R. B. D. Características físicas e químicas e atividade antioxidante de três frutos nativos do Cerrado (Savana Brasileira). **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n.2, 179-185, 2012.
- Alves, F. A. L.; Andrade, A. P.; Bruno, R. L. A.; Santos, D. C.; Pereira, V. L. A. Study of the genetic variability, correlation and importance of phenotypic characteristics in cactus pear (*Opuntia* and *Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 31, p. 2849-2859, 2016.
- Andrade, A. D.; Costa, R. D.; Santos, E. M.; Silva, D. D. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.4, n.4, p.01-14, 2010.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. MD: AOAC International Gaithersburg, (19th ed), 2012.
- Araújo, A. P.; Machado, C. T. T. Fósforo. In: Fernandes, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, v.01, n.1, p.253-280, 2006.
- Barbosa, M. M.; Detmann, E., Rocha, G. C.; Franco, M. D. O. Evaluation of laboratory procedures to quantify the neutral detergent fiber content in forage, concentrate, and ruminant feces. **Journal of AOAC International** v. 98, n. 4, p. 883-889, 2015.
- Becerra, J. A. B.; Shimabukuro, Y. E.; Alvalá, R. C. D. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p.125-134, 2009.
- Cavalcante, L. A. D.; Santos, G.R.A.; Silva, L. M.; Fagundes, J.L.; Silva, M. A.; Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo: - **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
- Cirino Júnior, B. Adubação potássica em clones de palma forrageira. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Agronomia) – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, p.22. 2019.
- Cortázar, V. G.; Nobel, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.56, n.3-4, p.261-272, 1991.
- Coskun, D.; Britto, D. T.; Li, M.; Oh, S.; Kronzucker, H. J. Capacity and plasticity of potassium channels and high-affinity transporters in roots of barley and *Arabidopsis*. **Plant physiology**, v. 162, n. 1, p. 496-511, 2013.
- Costa-Coutinho, J. M.; Jardim, M. A.; Castro, A. A. J. F.; Viana-Junior, A. B. Conexões biogeográficas de savanas brasileiras: partição da diversidade marginal e disjunta e conservação do trópico ecotonal setentrional em um hotspot de biodiversidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.7, p. 2407-2427, 2019.

Cunha, D. N. F. V.; Gomes, E. S.; Martuscello, J. A.; Amorim, P. L.; Silva, R. C.; Ferreira, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.4, p.1156-1165, 2012.

Cunha, D. N. F. V.; Gomes, E. S.; Martuscello, J. A.; Amorim, P. L.; Silva, R. C.; Ferreira, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.4, p.1156-1165, 2012.

Donato, P. E. R., Pires, A. J. V., Donato, S. L. R., Bonomo, P., Silva, J. A., & Aquino, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.151-158, 2014. doi: 10.5039/agraria.v9i1a3252

Dubeux Júnior, J. C. B.; Araújo Filho, J. T.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Santos, D. C.; Pessoa, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira - Clone IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

Edvan, R. L.; Carneiro, M.S.S. Palma forrageira: cultivo e uso na alimentação animal. 1. ed. Curitiba: Appris, p.93, 2019.

Edvan, R. L.; Mota, R. R. M.; Silva, T. P. D.; Nascimento, R. R.; Sousa, S. V.; Silva, A. L.; Araujo, M. J.; Araujo, J. S.. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1-10, 2020.

Erel, R.; Yermiyahu, U.; Ben-Gal A.; Dag A.; Shapira O.; Schwartz, A. Modification of non-stomatal limitation and photoprotection due to K and Na nutrition of olive trees. **Journal of plant physiology**, v. 177, p. 1-10, 2015.

Fageria, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.6-16, 1998.

Fernandes, G.S.T.; Lima, E. de A.; Lopes, P.M.O.; Silva, D.A. de O.; Santos, A.; Silva, T.T.F. Classificação climática e aptidão agrícola para Bom Jesus-PI em diferentes cenários climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 05 n. 01, p. 038-048, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2801.038-048>.

Ferreira, D. F. Sisvar: computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

Gomes, G. M. F.; Cândido, M. J. D.; Lopes, M. N.; Maranhão, T. D.; de Andrade, D. R.; Costa, J. F. M.; Neiva, J. N. M. Composição química de cladódios de palma forrageira sob diferentes manejos de adubação e colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.2, p. 221-228, 2018.

Grant, C. A.; Wu, R.; Selles, F.; Harker, K. N.; Clayton, G. W.; Bittman, S.; Lupwayi, N. Z. Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. **Field Crops Research**, v.127, p.170-180, 2012.

Kano, C.; Cardoso, A.I.I.; Villas Bôas, R.L. Influencia de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v.28, p.287-291, 2010.

Kawavata, C. K. H.; Kent, C.; Fatecha, D. A.; Coppo, J. C.; Neto, A. Influence of doses and of two sources of potassium in the maize root system and in the electrical conductivity in the soil. **Investigación Agraria**, v. 19, n. 1, p.28-34, 2017.

Lacerda, F. F.; Nobre, P.; Sobral, M. D. C. M.; Lopes, G. M. B.; Assad, E. D. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 132-141, 2016.

Leite, J. R. A.; Sales, E. C. J. D.; Monção, F. P.; Guimarães, A. D. S.; Rigueira, J. P. S.; Gomes, V. M. Nopalea cactus pear fertilized with nitrogen: morphometric, productive and nutritional characteristics. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.40, 2018.

Lima, A. S.; Silva, P. F.; Matos, R. M.; Bonou, S. I.; Dantas Neto, J. Determinação da área de cladódios e fator de correção da palma forrageira sob fertirrigação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.1, p. 3803-3815, 2020.

Lima, G. F. da C.; Rego, M. M. T.; Dantas, F. D. G.; Lôbo, R. N. B.; Silva, J. G. M. da; Aguiar, E. M. de. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, v.29, p.481-488, 2016.

Marschner, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Third Edition. London: Elsevier, p.651, 2012.

Meneghette, H. H. A.; Lazarini, E.; Bossolani, J. W.; Santos, F. L; Sanches, I. R.; Biazzi, N. Q. Adubação potássica em plantas de coberturas no sistema de plantio direto e efeitos na cultura da soja em sucessão. **Colloquium Agrariae**, v.15, n. 3, 01-12. 2019.

Mertens, D.R. Criando um sistema para atender aos requisitos de fibra de vacas leiteiras. **Jornal da ciência do leite**, v.80, n.7, p.1463-1481,1997.

Nascimento, K. S.; Edvan, R. L.; Gomes, N.S.; Ratke, R. F.; Carvalho, C.B.M. Evaluation of Application Frequency and Levels of Nitrogen on Cactus Pear. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, p. 859-870, 2020.

Noellsch, A. J.; Motavalli, P. P.; Nelson, K. A.; Kitchen, N. R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. **Agronomy Journal**, v.101, n.3, p. 607-614, 2009.

Padilha Junior, M. C.; Donato, S. L. R.; Silva, J. A.; Donato, P. E. R.; Souza, E. S.. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, n.11, v.1, p.67-72, 2016.

Peixoto, M. J. A.; Carneiro, M. D. S.; Amorim, D. S.; Edvan, R. L.; Pereira, E. S.; Costa, M. R. G. F. Características agronômicas e composição química da palma

forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de zootecnia**, v. 67, n.257, p. 35-39, 2018.

Pellegrini, C.B.; Medeiros, R.B.; Carlotto, S.B.; Garcia, R.P.A.; Lisboa, C.V; Bruning, G. Valor nutritivo de uma pastagem nativa dominada por *Eragrostis plana* Nees e sua relação com o perfil metabólico de vacas primíparas suplementadas da gestação ao pós-parto. **Ciência Animal Brasileira**, v.17, p.154-163, 2016.

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

Ratke R.F.; Campos A.R.; Inda A.V.; Barbosa R.S.; Silva Y.J.A.B.; Nobrega J.C.A.; Silva J.B.L. Agricultural potential and soil use based on the pedogenetic properties of soils from the Cerrado-caatinga transition. **Semina-Ciencias Agrarias**, v.41, p.1119–1134, 2020. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n4p1119>.

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

Rodrigues, M. Â.; Santos, H.; Ruivo, S.; Arrobas, M. Slow-release N fertilizers are not an alternative to urea for fertilization of autumn-grown tall cabbage. **European Journal of Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 137-143, 2010.

Sangoi, L.;Ernani, P. R.; Lech, V. A.; Rampazzo, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.65-70, 2003.

Santos, E. M.; Silva Júnior, G. B. D.; Cavalcante, Í. H. L.; Marques, A. S.; Albano, F. G. Planting spacing and NK fertilizing on physiological indexes and fruit production of papaya under semiarid climate. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 63-69, 2016.

Shabala, S.; Pottosin, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia plantarum**, v. 151, n. 3, p. 257-279, 2014.

Silva, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Embrapa informação Tecnológica, Brasília, 2009.

Silva, J.A. da; Donato, S. L. R.; Donato, P. E. R.; Souza, E. dos S.; Padilha-JÚNIOR, M. C.; Silva-Junior, A. A. e. Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 236-242, 2016.

Silva, K.B, Oliveira, J.S, Santos, E.M, Ramos, J. P.F, Cartaxo, F.Q, Givisiez, P. E.N, Zanine, A. M. Cactus Pear as Roughage Source Feeding Confined Lambs: Performance, Carcass Characteristics, and Economic Analysis. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 625, 2021.

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

Sniffen, C. J.; O'Connor, J. D.; Van Soest, P. J.; Fox, D. G.; Russell, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.7, p.3562-3577, 1992.

Souza, M. P., Coutinho, J. M. D. C. P., da Silva, L. S., Amorim, F. S., & Alves, A. R. Composição e estrutura da vegetação de caatinga no sul do Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.2, p. 210-217, 2017.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 858, 2017.

Teixeira P.C., Donagemma G. K., Fontana A., Teixeira W.G. **Manual de métodos de análises de solos**. 3a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 573p, 2017.

Tilley, JMA e Terry, RA. Uma técnica em duas etapas para a digestão in vitro de culturas forrageiras. **Ciência de gramíneas e forragens**, v.18, n.2, 104-111, 1963.

Valente, T. N. P.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. D. C.; Cunha, M. D.; Queiroz, A. C. D.; Sampaio, C. B. In situ estimation of indigestible compounds contents in cattle feed and feces using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n. 3, p.666-675, 2011.

Wakeel, A. Potassium–sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 3, p. 344-354, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

Neste estudo, por se tratar de um solo com alto teor de areia, e por ser um cultivo de sequeiro, o uso da ureia protegida não propiciou maiores eficiências produtivas na palma forrageira variedade Doce, em relação a uso da ureia convencional. Foi observado que a melhor resposta, tanto nutricional, quanto de maior produção desta cultura foi encontrada na utilização de 240 kg N ha⁻¹ de ureia protegida associado a dose de 40 kg de ha⁻¹ de potássio.

Para entender melhor a resposta da palma no ambiente Cerrado seria interessante realizar um estudo para saber qual seria a melhor suplementação hídrica, consumo hídrico e exigência térmica, neste cenário, e então a sua capacidade de produção.

Devido à baixa absorção da ureia protegida nessas condições, sugerem-se novos estudos com cultivos irrigados nessa região, para então observar o potencial desta neste ambiente, e então poder avaliar a interação e o melhor aproveitamento desses nutrientes. Também podem ser utilizadas doses mais elevadas de ureia seja convencional, ou protegida, dependendo do custo e benefício na região, associadas a doses de potássio, comparando a produtividade do cultivo de sequeiro com o irrigado.