



**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, DE RENDIMENTO
E NUTRICIONAIS DA PALMA FORRAGEIRA SOB
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E DOSES DE ESTERCO**

PAULO EMÍLIO RODRIGUES DONATO

2011

PAULO EMÍLIO RODRIGUES DONATO

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, DE RENDIMENTO E NUTRICIONAIS DA
PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E DOSES DE ESTERCO**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação de Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador:

D.Sc. Aureliano José Vieira Pires

Coorientadores:

D.Sc. Paulo Bonomo

D.Sc. Sérgio Luiz Rodrigues Donato

ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Área de Concentração em Produção de Ruminantes

Campus de Itapetinga-BA

TERMO DE APROVAÇÃO

Título: “Características morfológicas, de rendimento e nutricionais da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco”.

Autor: Paulo Emílio Rodrigues Donato

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **Doutor** em **Zootecnia**, área de concentração em **Produção de Ruminantes**, pela Banca Examinadora:

Prof. D.Sc. Aureliano José Vieira Pires – UESB

Presidente

Prof. D.Sc. Fabiano Ferreira da Silva – UESB

Prof. D.Sc. Raul Castro Carriello Rosa – EMBRAPA

Prof. D.Sc. Paulo Bonomo – UESB

Prof. D.Sc. Sérgio Luiz Rodrigues Donato – IF Baiano *Campus Guanambi*

Data da defesa: 08 de novembro de 2011

Ofereço esse trabalho à todos que já trabalharam, trabalham e trabalharão com a
palma forrageira

OFEREÇO

À minha esposa Aureluci Alves de Aquino e meu pai Etelvino Pereira Donato

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Aureliano José Vieira Pires pela orientação, presteza e toda ajuda fornecida no decorrer do curso.

Ao Prof. Sergio Luiz Rodrigues Donato pela coorientação, presteza e toda ajuda fornecida no decorrer do curso.

Ao Prof. Paulo Bonomo pela coorientação, presteza e toda ajuda fornecida no decorrer do curso.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – *Campus* Juvino Oliveira, em especial aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade da realização do Curso de Doutorado.

À EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Unidade Regional Epamig Norte de Minas) pela realização das análises laboratoriais, nas pessoas de Polyanna Mara de Oliveira (Chefe da Unidade), Mauricio Gomes Cardoso (Chefe do Laboratório de Solos) e Marina de Jesus Soares (Secretaria do Laboratório de Solos).

Ao Laboratório de Solos da UESB – *Campus* Vitoria da Conquista, na pessoa do Professor Carlos Henrique Farias de Amorim, pela realização das análises de solo.

Ao Instituto Federal Baiano – *Campus* Guanambi, nas pessoas dos Professores Ariomar Rodrigues dos Santos e Carlos Elízio Cotrim, que permitiu a nossa ausência e viabilizou financeiramente o projeto.

À Daiane Maria Trindade Chagas pela realização das análises bromatológicas, no Laboratório de Forragicultura e Pastagens da UESB - *Campus* Juvino Oliveira.

Aos companheiros de viagem João Abel, Maria do Socorro e Mariana pelas 67 idas e vindas (Guanambi - Itapetinga), totalizando 53.600 Km rodados nesses quase 3 anos.

Ao auxiliar de campo José Poquê pela colheita e seleção dos cladódios para plantio.

A Fazenda Alagoinhas pela doação dos cladódios muda.

Ao amigo, técnico e colega Ancilon Araújo Junior (Coordenador Geral de Produção e Pesquisa) e seus auxiliares pela inestimável ajuda e colaboração.

Aos auxiliares de campo Antonio Meira, Zé de Delício, Negão, Zezão, Branco, Eldinho e Adalberto.

Aos meus meninos Mateus e Iael pela compreensão e paciência, Iael pelo trabalho extra na retirada dos espinhos.

Aos meus pais Etelvino e Arlinda, aos meus irmãos Fabio, Miriam, Luiz e Sérgio, pela ajuda e colaboração para a realização desse trabalho.

A amiga e colega Professora Verbenes pela colaboração.

Ao Professor Raul Carriello Rosa pela participação na Banca e colaboração.

Ao Professor Fabiano Ferreira da Silva por acreditar desde o início.

Em especial à Aureluci Alves de Aquino, esposa e companheira, pela dedicação, incentivo, ajuda interminável na construção desse projeto, com certeza sem ela nada teria acontecido.

O meu muito obrigado!

RESUMO

DONATO, P.E.R. **Características morfológicas, de rendimento e nutricionais da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco.** Itapetinga-BA: UESB, 2011. 135f. (Tese – Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes).*

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a qualidade bromatológica, a morfologia, o estado nutricional, a extração/exportação de nutrientes e o rendimento da palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos de plantio e doses de esterco bovino aplicadas ao solo. O experimento foi implantado em um Latossolo Vermelho-Amarelo e conduzido entre setembro de 2009 a maio de 2011, em Guanambi, Sudoeste da Bahia. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 12 tratamentos disposto em esquema fatorial 4 x 3, quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e três espaçamentos de plantio, dois em fileiras simples (1,0 x 0,5 e 2,0 x 0,25 m) e um em fileira dupla (3,0 x 1,0 x 0,25 m), três repetições, com população de 20.000 plantas ha⁻¹. Aos 600 dias após o plantio foi avaliado nos cladódios a composição bromatológica, as características morfométricas, o teor e a extração/exportação de nutrientes. Determinou-se ainda o rendimento da palma forrageira. Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente foram realizadas comparações entre as médias dos diferentes espaçamentos pelo Teste de Tukey (P<0,05) e análise de regressão para as diferentes doses de esterco, de acordo com o desdobramento ou não da interação, em função da sua significância. As doses de esterco bovino influenciaram de forma positiva, os teores de fósforo, zinco, nitrogênio total, proteína bruta, proteína de rápida e intermediária degradação e o comprimento dos cladódios. Houve decréscimo nos teores de hemicelulose, carboidratos totais, nitrogênio insolúvel em detergente neutro e ácido em função do nitrogênio total e proteína indigerível. O teor de matéria seca, magnésio e enxofre, o número, a espessura e o índice de área dos cladódios foram dependentes dos espaçamentos e doses de esterco. As diferentes doses de esterco e espaçamentos influenciaram, de forma independente, a altura da planta, a produção de massa verde e matéria seca, os teores de nitrogênio, potássio, cálcio, enxofre, cobre, sódio e a extração/exportação de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, boro, zinco, ferro, manganês, cobre e sódio. Diante dos resultados encontrados foi possível concluir que os espaçamentos de fileiras simples proporcionaram maior rendimento de matéria seca; os espaçamentos de plantio não influenciaram a qualidade da forragem de palma; os macronutrientes extraídos/exportados em maior quantidade pela palma forrageira foram: K, Ca, N, Mg, P e S; e os micronutrientes: Mn, Fe, Zn, Na, B e Cu, nesta ordem; o incremento das doses de esterco bovino promoveu uma maior extração de nutrientes e aumentou os seus teores nos cladódios de palma forrageira e, consequentemente, melhorou a qualidade e aumentou a produção de forragem pela palma.

Palavras chave: *Opuntia*, adubação orgânica, arranjo de plantas, estado nutricional, produção, qualidade da forragem.

* Orientador: Aureliano José Vieira Pires, D.Sc. – UESB e Coorientadores: Paulo Bonomo, D.Sc. – UESB e Sérgio Luiz Rodrigues Donato, D.Sc. – IF Baiano, *Campus* Guanambi.

ABSTRACT

DONATO, P.E.R. **Morphological characteristics, yield and nutrition of the cactus pear under different spacing and doses of manure.** Itapetinga-BA: UESB, 2011. 135f. (Thesis – Doctor Degree in Animal Science, Area of Concentration in Ruminant Production).*

The objective of this study was evaluate the chemical quality, morphology, nutritional status, the extraction/export of nutrients and yield of cactus pear grown under different planting spacings and doses of cattle manure applied to soil. The experiment was implemented in an Oxisol and conducted between September 2009 and May 2011 in Guanambi, South of Bahia. The experimental design was a randomized complete block with 12 treatments arranged in a factorial 3 x 4, four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha⁻¹ yr⁻¹) and three planting space, two in single rows (1,0 x 0,5 and 2,0 x 0,25 m) and in a double row (3,0 x 1,0 x 0,25 m), three repetitions, with a population of 20.000 plants ha⁻¹. At 600 days after planting was evaluated in the cladodes chemical composition, the morphometric characteristics, content and extraction/export of nutrients. It was also determined the yield of cactus pear. The data were subjected to analysis of variance and were later comparisons between means of different pitches by Tukey test (P <0.05) and regression analysis for the different doses of manure, according to the unfolding of the interaction or not, depending on their significance. The manure positively influenced cattle, the levels of phosphorus, zinc, total nitrogen, crude protein, protein and rapid degradation intermediate, length of cladodes. There was a decrease in hemicellulose, total carbohydrates, neutral detergent insoluble nitrogen and acid according to the total nitrogen and protein indigestible. The dry matter content, magnesium and sulfur, the number, thickness and area index of cladodes were dependent on the spacing and doses of manure. The different doses of manure and spacing influenced independently of the height plant, the production of green mass and dry matter contents of nitrogen, potassium, calcium, sulfur, copper, sodium and extraction/export of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, boron, zinc, iron, manganese, copper and sodium. Given the results we conclude that: single-row spacing resulted in greater dry matter; planting spacings did not influence the quality of forage palm; macronutrients extracted/exported in larger quantities by forage cactus were: K, Ca , N, Mg, P and S, and micronutrients: Mn, Fe, Zn, Na, and Cu B, in this order; the increase in levels of manure promotes greater nutrient uptake and increases their level in the cladodes palm forage, and hence improves quality and increases the production of fodder for the palm.

Keywords: *Opuntia*, organic manure, plant arrangement, nutritional status, production, forage quality.

* Guidance Committee: Adviser: Aureliano José Vieira Pires, D.Sc. – UESB e Co-Advisers: Paulo Bonomo, D.Sc. – UESB and Sérgio Luiz Rodrigues Donato, D.Sc. – IF Baiano, *Campus* Guanambi.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Croqui da área experimental	36
Figura 2 - Precipitação e umidade relativa na área do palmar durante o período de 2009 a 2011, Guanambi, BA.....	37
Figura 3 - Temperaturas média, mínima e máxima na área do palmar durante o período de 2009 a 2011, Guanambi, BA.....	38
Figura 4 - Identificação da parcela útil na área experimental.....	39
Figura 5 - Roçagem e preparo do solo da área experimental: limpeza com roçadeira (5A), subsolagem (5B), aração (5C) e sulcamento (5D).....	42
Figura 6 - Adubação da área experimental com esterco bovino: distribuição das doses nas parcelas experimentais (6A) e vista da área adubada (6B).....	44
Figura 7 - Colheita e plantio das mudas na área experimental. Murchamento à sombra (7A), mudas curadas (7B), distribuição das mudas ao lado do sulco de plantio (7C) e posicionamento com gabarito e chegada de terra (7D).....	46
Figura 8 - Condução do experimento. Emissão das primeiras brotações (8A), controle de ervas daninhas com o uso de herbicida (8B)	47
Figura 9 - Amostragem de tecido de cladódios para análise de teor de nutrientes e bromatológica (9A e 9B).....	48
Figura 10 - Avaliações morfológicas. Altura da planta (10A), largura do cladódio (10B), comprimento do cladódio (10C) e espessura do cladódio (10D).....	49
Figura 11 - Amostragem de tecido de cladódio e colheita. Pontos de amostragem para análise bromatológica (11A), parcela útil colhida (11B), pesagem dos cladódios (11C) e planta colhida com preservação de três cladódios primários (11D).....	52
Figura 12 - Teores de fósforo (dag kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	54
Figura 13 - Teores de nitrogênio (dag kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	57
Figura 14 - Teores de potássio (dag kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	59
Figura 15 - Teores de enxofre (dag kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	60
Figura 16 - Teores de cálcio (dag kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	61
Figura 17 - Teores de magnésio (dag kg^{-1}) em cladódios de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes	

	espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino.....	63
Figura 18 -	Teores de zinco (mg kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	65
Figura 19 -	Média do número de cladódios por planta de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino.....	69
Figura 20 -	Comprimento médio dos cladódios de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de doses de esterco bovino	70
Figura 21 -	Espessura média dos cladódios de palma forrageira aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino.....	73
Figura 22 -	Média do índice da área de cladódio de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino.....	77
Figura 23 -	Altura média da planta de palma forrageira avaliada aos 600 dias após plantio em função de doses de esterco bovino.....	80
Figura 24 -	Produção média de massa verde, aos 600 dias após plantio, em palma forrageira em função de doses de esterco bovino..	82
Figura 25 -	Produção média de matéria seca de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de doses de esterco bovino	84
Figura 26 -	Teor de matéria seca em tecidos de palma forrageira 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino.....	87
Figura 27 -	Teor de nitrogênio total (NT) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	90
Figura 28 -	Teor de proteína bruta em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	91
Figura 29 -	Teor de hemicelulose em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	95
Figura 30 -	Teor de nitrogênio insolúvel em detergente neutro em função do nitrogênio total (NIDN_{NT}) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	96
Figura 31 -	Teor de nitrogênio insolúvel em detergente ácido em função do nitrogênio total (NIDA_{NT}) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	97
Figura 32 -	Teor de carboidratos totais (CHT) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	98
Figura 33 -	Teor de proteína de rápida e de intermediária degradação	

	(B1 + B2) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	101
Figura 34 -	Teor de proteína indigerível (C) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino.....	103
Figura 35 -	Extração/exportação de nitrogênio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	106
Figura 36 -	Extração/exportação de fósforo em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	107
Figura 37 -	Extração/exportação de potássio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	109
Figura 38 -	Extração/exportação de cálcio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	110
Figura 39 -	Extração/exportação de magnésio em cladódios da palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino.....	112
Figura 40 -	Extração/exportação de enxofre de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino.....	114
Figura 41 -	Extração/exportação de boro em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	118
Figura 42 -	Extração/exportação de cobre em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	118
Figura 43 -	Extração/exportação de ferro em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	119
Figura 44 -	Extração/exportação de manganês em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	119
Figura 45 -	Extração/exportação de zinco em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	120
Figura 46 -	Extração/exportação de sódio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino.....	120

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Identificação dos tratamentos - detalhamento dos fatores, espaçamentos e doses de esterco bovino aplicadas ao solo, e seus respectivos níveis.....	39
Tabela 2 - Resultados médios das análises químicas do solo referente às áreas ocupadas pelos blocos 1, 2 e 3.....	41
Tabela 3 - Resultados das análises físicas do solo da área experimental	41
Tabela 4 - Resultados das análises físico-químicas do esterco de bovino utilizado na implantação do experimento.....	44
Tabela 5 - Médias dos teores de nitrogênio, fósforo, enxofre e cálcio (dag kg^{-1}), aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos.....	55
Tabela 6 - Médias dos teores de magnésio (dag kg^{-1}), aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos.....	62
Tabela 7 - Médias dos teores de cobre e sódio (mg kg^{-1}), aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos.....	64
Tabela 8 - Número de cladódios por planta de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de diferentes espaçamentos.....	67
Tabela 9 - Espessura dos cladódios (cm) de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de diferentes espaçamentos.....	72
Tabela 10 - Médias de índice de área dos cladódios (IAC) em palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos.....	75
Tabela 11 - Médias de altura da planta, produção de massa verde (PMV) e de matéria seca (PMS), aos 600 dias após plantio, em palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos.....	79
Tabela 12 - Teor de matéria seca em tecidos da palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 dias após plantio.....	86
Tabela 13 - Teor de cinza em tecidos de palma forrageira cultivadas sob diferentes espaçamentos aos 600 dias após plantio.....	93
Tabela 14 - Teor de nitrogênio insolúvel em detergente ácido em função do nitrogênio total (NIDA_{NT}) em tecidos de palma forrageira cultivadas sob diferentes espaçamentos aos 600 dias após plantio.....	98
Tabela 15 - Teor de proteína indigerível (C) em tecidos de palma forrageira cultivadas sob diferentes espaçamentos aos 600 dias após plantio.....	102
Tabela 16 - Extração/exportação de nitrogênio (NEE), fósforo (PEE), potássio (KEE) e cálcio (CaEE), aos 600 DAP, em cladódios	

	de palma forrageira (kg ha ⁻¹) cultivada sob diferentes espaçamentos.....	105
Tabela 17 -	Quantidade de magnésio (MgEE) extraído/exportado, aos 600 dias após plantio, em cladódios de palma forrageira (kg ha ⁻¹) cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco.....	111
Tabela 18 -	Quantidade de enxofre (SEE) extraído/exportado, avaliada aos 600 dias após plantio, em cladódios de palma forrageira (kg ha ⁻¹) cultivada sob diferentes espaçamentos.....	113
Tabela 19 -	Balanço de nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) em função da extração/exportação pela palma forrageira e do adicionado ao solo pelo esterco bovino, aos 600 dias após plantio.....	116
Tabela 20 -	Extração/exportação de boro (BEE), cobre (CuEE), ferro (FeEE), manganês (MnEE), sódio (NaEE) e zinco (ZnEE), aos 600 dias após plantio, em cladódios de palma forrageira (kg ha ⁻¹) cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino.....	117
Tabela 21 -	Balanço de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês, sódio e zinco) em função da extração/exportação média pela palma forrageira e do adicionado ao solo pelo esterco bovino, aos 600 dias após plantio.....	121

SUMÁRIO

RESUMO.....

ABSTRACT.....

1. INTRODUÇÃO 15

2. REVISÃO DE LITERATURA 19

2.1. Planta 19

2.2. Sistemas de plantio 24

2.3. Adubação 26

2.4. Espaçamento 30

2.5. Condução 33

2.6. Utilização..... 33

3. MATERIAL E MÉTODOS 36

3.1. Descrição das condições experimentais.....36

3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....38

3.3. Operações realizadas 38

3.3.1. Limpeza do terreno..... 38

3.3.2. Marcação e coleta de amostras de solo da área 39

3.3.3. Preparo do solo 40

3.3.4. Adubação da área 43

3.3.5. Retirada das mudas..... 45

3.3.6. Plantio das mudas 45

3.3.7. Condução do experimento..... 46

3.3.8. Coleta de dados..... 47

3.3.9. Análise dos dados 51

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1. Avaliação do estado nutricional da palma forrageira.....	53
4.1.1. Macronutrientes	53
4.1.2. Micronutrientes	63
4.2. Avaliações morfométricas da palma forrageira	66
4.2.1. Número de cladódios por planta	66
4.2.2. Comprimento do cladódio	69
4.2.3. Largura do cladódio	71
4.2.4. Espessura do cladódio.....	72
4.2.5. Área do cladódio	74
4.2.6. Índice de área do cladódio.....	75
4.2.7. Altura da planta.....	78
4.2.8. Produção de massa verde	81
4.2.9. Produção de matéria seca.....	83
4.3. Composição bromatológica da palma forrageira	85
4.3.1. Teor de matéria seca.....	85
4.3.2. Teor de nitrogênio total e proteína bruta.....	89
4.3.3. Teor de extrato etéreo	92
4.3.4. Teor de cinza	93
4.3.5. Teor de fibras.....	93
4.3.6. Fracionamento de carboidratos e proteínas	99
4.3.7. A digestibilidade <i>in situ</i> na matéria seca.....	103
4.4. Extração/exportação de nutrientes pela da palma forrageira	103
4.4.1. Extração/exportação de macronutrientes	104
4.4.2. Balanço e extração/exportação de macronutrientes.....	115
4.4.3. Extração/exportação de micronutrientes.....	116
 5. CONCLUSÕES	 122
 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 123
 7. ANEXO 1.....	 133

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a faixa territorial considerada semiárida abrange uma área de 969.589,4 km², que representa 11,39% do território brasileiro e 60% da região Nordeste (Ministério da Integração, 2005). Esta área constitui o polígono das secas (Codevasf, 2011), que inclui municípios de todos os estados do Nordeste, exceto o Maranhão e também o Norte e o Nordeste do estado de Minas Gerais. O estado da Bahia possui dois terços do seu território nesta situação, onde o espaço geográfico é marcado pelas limitações à produção agrícola, impostas pelas peculiaridades dos seus recursos naturais. Aliado às dificuldades do clima, que impõem severo déficit hídrico e, portanto, baixo desempenho econômico às explorações agrícolas praticadas, notadamente devido ao regime de má distribuição das precipitações pluviométricas, a Bahia depara-se com o baixo potencial de irrigação, menos de 3% do seu território é passível de irrigação. Esse quadro de restrições naturais é agravado, ainda, pela insuficiência dos investimentos estatais em infraestrutura e de apoio à organização social (Chiacchio et al., 2006).

O semiárido nordestino é caracterizado pela heterogeneidade das condições naturais, como clima, solo, topografia, vegetação e características socioeconômicas. Mas, o traço mais marcante é o clima, principalmente pela existência de um regime pluviométrico que delimita duas estações bem distintas. Uma curta estação chuvosa de três a cinco meses, denominada de “inverno” e uma longa estação seca chamada de “verão”, que tem duração de sete a nove meses (Codevasf, 2011; Teles et al., 2002). Araújo et al. (2006) afirmam que em função das condições edafo-climáticas peculiares, a pecuária tem se constituído, ao longo do tempo, na atividade básica das populações rurais distribuídas na região semiárida nordestina. As lavouras têm sido consideradas apenas um sub-componente dos sistemas de produção predominantes, por causa de sua maior vulnerabilidade às limitações ambientais.

A pecuária segue o modelo de exploração misto, com cerca de 90% das propriedades criando bovinos, caprinos e ovinos, simultaneamente. O regime de criação é predominantemente extensivo, constituindo a vegetação da caatinga a

principal e, em muitos casos, a única fonte de alimento para os rebanhos. A disponibilidade insuficiente aliada a baixa qualidade da forragem, principalmente no período seco, resultam nos baixos índices de produção e produtividade dos animais. Além disto, o superpastejo generalizado agrava o estado de degradação das pastagens, o que implica em redução ainda mais da sua capacidade produtiva. A exploração pecuária nesta região é prejudicada pelas constantes secas e irregularidade das chuvas (Araújo Filho & Barbosa, 1999).

Várias alternativas de alimentação suplementar têm sido utilizadas no intuito de minimizar esses danos. Porém, muitas vezes essas tecnologias esbarram em empecilhos não só financeiros como também naturais, como por exemplo, a pouca disponibilidade de água nas propriedades agrícolas para suprir a produção de forragens como cana e capins de corte, que obrigatoriamente requerem irrigação.

Na interpretação de Resende et al. (2002; 2007), o homem ao deparar com problemas do meio físico, como a escassez d'água, comum nas regiões semiáridas, pode adotar diferentes estratégias: a) redução das limitações, ou b) convivência com as limitações. Enquanto a primeira estratégia envolve maior custo, nível tecnológico elevado e incorre em maior impacto ambiental, a segunda exige menos recursos, menor aporte de tecnologia e é ambientalmente mais equilibrada.

A construção de sistemas de barramento de água, perfuração de poços tubulares, instalação de sistemas de irrigação para a produção de forragem de capim elefante e cana-de-açúcar para alimentação animal, são exemplos de estratégias de redução do problema. Por outro lado, o cultivo sob sequeiro de plantas resistentes a estresses por déficit hídrico, temperaturas supraótimas e excesso de radiação, como por exemplo a palma forrageira, são mostras da convivência com as limitações do ambiente físico predominantes no semiárido. Resende et al. (2007) argumentam que em um sistema com problemas de várias naturezas, a adoção de práticas de convivência - viver com o que se tem, parece ser embrionariamente a idéia chave na futura relação sociedade natureza, em que se enfatiza a sustentabilidade.

Nesse contexto, a palma apresenta-se como suporte forrageiro imprescindível à sustentabilidade dos sistemas de criação nas regiões semiáridas

(Teles et al., 2002; Ferreira et al., 2008). É vista também como uma alternativa primordial para esta região, visto que é uma cultura que apresenta aspecto fisiológico especial quanto à absorção, aproveitamento e perda de água, suportando prolongados períodos de estiagem (Teles et al., 2002).

Vários avanços derivados de trabalhos sobre o uso racional da palma na alimentação de ruminantes têm sido obtidos, e, portanto, precisam ser efetivamente adotados (Ferreira et al., 2008).

A palma forrageira foi introduzida no Brasil por volta de 1880, no Estado de Pernambuco. É considerada uma das principais plantas capazes de produzir grande quantidade de matéria seca para alimentação de ruminantes nessa região, com a particularidade, de maior disponibilidade no período de maior escassez de forragem.

Nos últimos anos, a palma forrageira vem alcançando larga escala de cultivo pelos criadores das bacias leiteiras, principalmente de Pernambuco e Alagoas. Estima-se existir hoje, no Nordeste, aproximadamente 500 mil hectares cultivados, constituindo-se em uma das principais forrageiras, para o gado leiteiro, na época seca (Santos et al., 2002).

A Microrregião de Guanambi localizada no Sudoeste da Bahia, no Semiárido Nordestino, ou seja, no Polígono das Secas, experimenta os mesmos problemas relacionados à alimentação de ruminantes durante os longos períodos de estiagem.

A palma forrageira é constantemente encontrada nas propriedades agrícolas de todo o semiárido fazendo parte dos poucos alimentos disponíveis para fornecimento aos animais. Mas sua produtividade ainda é considerada baixa, muito aquém do seu potencial produtivo, devido principalmente ao baixo nível tecnológico empregado, no plantio e condução da cultura.

Uma destas tecnologias seria o uso do esterco na adubação da palma forrageira diminuindo o custo de produção, melhorando a qualidade e quantidade produzida, o que traduz em vantagens para o sistema de produção pecuário no semiárido.

Os compostos orgânicos, de forma geral, melhoram as propriedades físicas do solo, resultando em maior capacidade de armazenamento de água no mesmo e diminui o processo erosivo. Também aumenta a solubilidade dos componentes

minerais do solo, uma vez que durante sua decomposição forma ácidos e CO₂ que se dissolvem na água e aceleram esse processo (Malavolta, 1989; Filgueira, 2000). Além disso, o composto orgânico resulta em incremento no controle biológico pela microbiota do solo e no menor ataque de pragas. O composto orgânico libera mais lentamente os nutrientes comparados com as formulações químicas, deixando a planta mais equilibrada fisiologicamente (Filgueira, 2000; Gallo et al., 2002; Altieri et al., 2003).

A palma forrageira apresenta também adaptação às condições adversas do semiárido, dada a sua fisiologia caracterizada pelo processo fotossintético denominado Metabolismo Ácido Crassuláceo (CAM) (Farias et al., 2000), que se expressa com maior intensidade sob condições de estresses abióticos severos. Entretanto, na ausência de estresse a palma pode atuar como CAM facultativa, ou seja, ajustar o padrão de captação de CO₂, como ocorre com outras cactáceas, crassuláceas e bromeliáceas (Taiz & Zeiger, 2009). Assim, mudanças no manejo da cultura, como combinação de espaçamentos e doses de adubação podem aperfeiçoar o uso da radiação e o *status* nutricional da planta com consequente incremento nas taxas fotossintéticas, no crescimento, na produtividade e na composição nutricional.

Experimentos de adubação, espaçamento, densidade de plantio e comportamento de cultivares, entre outros, devem ser instalados em áreas que representam aquelas para as quais os resultados serão extrapolados, pois estes variam de modo geral com os fatores ecológicos, como solo, clima e organismos, com os quais se está trabalhando (Resende et al., 2007).

Diante desse cenário, a produção de alimentos para as populações e para os rebanhos na região, deverá ser baseada em espécies vegetais que apresentem características de alta adaptabilidade às condições edafo-climáticas regionais.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a composição nutricional, os componentes morfométricos, o teor de nutrientes nos cladódios, a extração/exportação de nutrientes e a produção de palma forrageira, cultivada sob diferentes combinações de espaçamentos de plantio e doses de esterco bovino aplicadas ao solo, na condição semiárida do Sudoeste Baiano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Planta

Chiacchio et al. (2006) em sua revisão citam que as palmas forrageiras pertencem à classe Liliatae; família Cactaceae; subfamília Opuntioideae, tribu Opuntiae; gênero *Opuntia*; subgênero *Opuntia* e *Nopalea*; do reino Vegetal; sub-reino Embryophita; divisão Angiospermae.

É considerada uma planta xerófila e por isso apresenta adaptação às condições adversas do semiárido. Sua fisiologia é caracterizada pelo processo fotossintético denominado Metabolismo Ácido Crassulaceo (CAM) (Farias et al., 2000).

As espécies da família Cactaceae, especialmente a palma forrageira – *Opuntia ficus indica* e *Nopalea cochenillifera*, possuem os requisitos para suportar os rigores do clima e as especificidades físico-químicas dos solos das zonas semiáridas (Chiacchio et al., 2006).

Tipicamente, uma planta CAM, perde 50 a 100 g de água para cada grama de CO₂ obtido, comparando com valores de 250 a 300 g para plantas C₄ e 400 a 500 g para plantas C₃. Portanto, as plantas CAM possuem uma vantagem competitiva em ambientes secos (Taiz & Zeiger, 2009).

A eficiência no uso da água, até 11 vezes superior à observada nas plantas de mecanismo C₃, torna a palma, dentre as forrageiras cultivadas, a espécie mais adaptada ao semiárido (Ferreira et al., 2008).

Os cladódios de cactos podem sobreviver por vários meses sem água, após a separação da planta-mãe. Seus estômatos permanecem fechados durante todo o tempo, e o CO₂ liberado pela respiração é refixado em malato. Tal processo é denominado CAM ocioso e permite a planta sobreviver por períodos de seca prolongados com perda de água extremamente reduzida (Taiz & Zeiger, 2009).

Muitos representantes das plantas CAM têm regulação de longo prazo e são capazes de ajustar seu padrão de captação de CO₂ às condições ambientais. Aizoaceae, Bromeliaceae, Crassulaceae, Portulacaceae e Vitaceae estão entre as famílias que utilizam o CAM quando a água é escassa, mas fazem uma transição gradual para C₃ quando a água é abundante. Quando algumas plantas CAM são

bem hidratadas, elas podem mudar para o modo C₃, abrindo seus estômatos e fixando CO₂ durante o dia via rubisco (Taiz & Zeiger, 2009).

Outras condições ambientais, como salinidade, temperatura, e intensidade ou qualidade da luz, também contribuem para a extensão na qual o CAM é induzido nessas plantas (Taiz & Zeiger, 2009).

A palma é uma forrageira totalmente adaptada às condições edafo-climáticas da região semiárida, por pertencer ao grupo CAM, que apresentam metabolismo diferenciado, fazendo a abertura dos estômatos essencialmente à noite, quando a temperatura ambiente apresenta-se reduzida. Esse comportamento diminui as perdas de água por transpiração (Ferreira et al., 2008).

Pode manter sua fotossíntese máxima até 15 dias depois de acabar o suprimento de água do solo e depois manter taxas decrescentes de fotossíntese, com períodos de abertura de estômatos cada vez menores. Naturalmente, estes períodos dependem da temperatura e da umidade relativa do ar, principalmente à noite (Sampaio, 2005).

Apresenta baixo Índice de Área de Cladódio (IAC), o que pode limitar o crescimento e favorecer a incidência de plantas daninhas. Este baixo IAC pode ser parcialmente atenuado por uma maior densidade de plantas ou por colheitas menos frequentes e menos severas, com a conservação de maior número de cladódios (Farias et al., 2000).

A luz é um fator que assume grande importância, e no caso da palma forrageira, a disposição quase perpendicular dos cladódios em relação ao solo dificulta a interceptação da luz incidente, o que resulta em um crescimento inicial lento, em função da baixa área fotossintética, mas constitui mecanismo de defesa contra o estresse por radiação. O plantio adensado permite maior interceptação de luz por meio do aumento do IAC, resultando em maiores produtividades (Nobel, 2001; Santos et al., 2005a).

Um IAC de 4 a 5 indica que a área de ambos os lados dos cladódios é quatro a cinco vezes maior que a área do solo, e a produtividade é máxima. Quando as plantas estão mais juntas ou têm mais cladódios, o IAC aumenta, mas a produtividade reduz (Nobel, 2001).

A palma forrageira tem experimentado aumento da sua área de cultivo em diversos países e também no Semiárido Baiano, com a finalidade de produção de

forragem animal. Entretanto, esses cultivos, em sua maioria, estão aquém da plenitude do seu potencial produtivo (Chiacchio et al., 2006).

Características morfogênicas das plantas são determinadas pelo genótipo, porém são fortemente influenciadas pelo ambiente, pelo manejo cultural e do solo a que são submetidas (Costa, 2010). Espécie que tem maior plasticidade fenotípica desempenha importante papel na capacidade de adaptação às condições do habitat (Larcher, 2000).

É necessário conhecer os efeitos diretos e indiretos e as correlações entre a produtividade e características morfológicas para identificação de fatores que influenciam a produção, sendo que a correlação tem basicamente duas origens: genética e de ambiente (Silva et al., 2010). Nobel (2001) em sua revisão cita que o tamanho dos cladódios é determinado pelo genótipo, e, em menor escala, pela disposição de plantio e fertilidade do solo.

O conhecimento de variáveis morfogênicas como a taxa de brotação, alongamento e espessura dos cladódios se revestem de fundamental importância para se avaliar o potencial de adaptação de uma dada espécie ou variedade ao ambiente onde é cultivada. As respostas das plantas, em termos de crescimento e desenvolvimento, são específicas para cada espécie vegetal e varia, também, segundo a variedade (Sales et al., 2006).

Oliveira Junior et al. (2009) observaram menor valor do perímetro do cladódio aos 270 dias após o plantio comparado aos 150 dias, fato que pode ser explicado pelo efeito do déficit hídrico, em uma planta de metabolismo CAM, pois os autores constataram que aos 270 dias a quantidade de chuva foi nula, coincidindo com período de altas temperaturas e elevada evapotranspiração, fazendo com que as plantas paralisassem seu crescimento, perdendo água para o meio, tendo como consequência o murchamento, diminuindo assim seu perímetro.

Água

A palma forrageira funciona como importante fonte de água para pequenos ruminantes em regiões semiáridas (Rangel et al., 2009), pois é uma planta suculenta, altamente hidratada e contém em média 90% de água (Santos et al., 2002).

A elevada umidade observada, independente do cultivar, é uma característica importante, tratando-se de região semiárida, pelo atendimento de grande parte das necessidades de água dos animais, principalmente no período seco do ano (Santos et al., 2001). A presença de uma reserva de cactáceas durante períodos de seca pode ser considerada como um “banco de água” e pode representar a diferença entre a vida e os elevados índices de mortalidade com animais, registrados durante a ocorrência de secas (Rangel et al., 2009).

Vieira (2006) observou a redução linear no consumo de água por caprinos recebendo níveis crescentes de palma forrageira na dieta. O consumo decresceu de 201,3 ml de água com 37,5% de palma na ração, para 69 ml quando a concentração de palma na ração foi de 76,5%. O autor concluiu que o consumo de água via dieta aumentou com o fornecimento de níveis crescentes de palma.

Matéria seca

A palma forrageira apresenta baixo conteúdo de matéria seca quando comparada à maioria das forrageiras. O teor de matéria seca em média para as palmas redonda, gigante e miúda é de: 11,0; 10,6; e 12,0 dag kg⁻¹, respectivamente (Santos et al., 2001), variando de 8,24 a 16,32 dag kg⁻¹ (Santos et al., 2005b). Este baixo teor compromete o atendimento das necessidades de matéria seca dos animais que recebem exclusivamente palma (Santos et al., 2001).

Por se tratar de um alimento que apresenta alta palatabilidade, grandes quantidades de palma forrageira podem ser voluntariamente consumidas pelos animais (Ferreira et al., 2008), mas sua elevada umidade, limita o consumo pelo controle físico, por meio do enchimento do rúmen (Santos et al., 2001). Esse baixo teor de matéria seca da palma implica na ingestão de grandes quantidades do alimento para que sejam atendidas às necessidades do animal (Albuquerque et al., 2002).

Segundo Teles et al. (2004) cladódios novos apresentam menor teor de matéria seca do que os mais velhos, pois, os baixos valores de matéria seca da palma podem estar associados ao crescimento lento apresentado pelas plantas CAM, que em função desse baixo desenvolvimento, conseguem manter o valor nutritivo por mais tempo.

Fração fibrosa

Segundo Wanderley (2002), o NRC (1989) recomenda um mínimo de 21 dag kg⁻¹ de fibra em detergente ácido (FDA) e 28 dag kg⁻¹ de fibra em detergente neutro (FDN) na ração de vacas em lactação, com pelo menos 75 dag kg⁻¹ da FDN proveniente de volumoso. A palma forrageira possui valores de fibra considerados baixos (Santos et al., 2001).

Os teores de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) estão em torno de 14,29 a 22,39 dag kg⁻¹ e 17,6 a 26,7 dag kg⁻¹ para a cultivar Gigante (Santos et al., 2005b).

A associação da palma a uma fonte de alto teor de fibra em detergente neutro possibilita a melhoria do aproveitamento da dieta, uma vez que introduz no sistema fibra com alta efetividade, visando melhor “saúde” ruminal e utilização dos nutrientes (Ferreira et al., 2008).

Proteína

A proteína bruta proveniente da palma forrageira é insuficiente para o adequado desempenho animal, quando fornecida como volumoso exclusivo. É necessária sua associação a alimentos volumosos com alto teor de fibra efetiva e fontes de nitrogênio não protéico e/ou proteína verdadeira (Ferreira et al., 2008).

Existe também a possibilidade de aumentar o teor de proteína da palma forrageira. A primeira seria a fertilização do solo com nitrogênio e fósforo, a segunda seria aumentar o teor de nitrogênio e fósforo na planta por seleção de clones mais nutritivos e a terceira, a inoculação das raízes com bactérias de associação livres e fixadoras de nitrogênio (Felker, 2001)

O teor médio de proteína bruta é de: 5,93; 6,32 e 6,28 dag kg⁻¹ para as palmas redonda, gigante e miúda, respectivamente (Santos et al., 2001). Teles et al. (2004) estimaram os valores de proteína bruta, encontrando valor de 7,41 dag kg⁻¹ para palma cultivar Gigante, cultivada em vasos e adubada com nitrogênio, com idade de nove meses. Os mesmos autores concluíram que os teores de matéria seca são diretamente proporcionais, e os de proteína bruta são inversamente proporcionais, à idade da planta.

Energia

A palma forrageira também é considerada uma fonte energética de grande potencialidade para a nutrição de ruminantes, principalmente, no Nordeste Brasileiro (Tosto et al., 2007).

Embora seja qualificada como excelente fonte energética (Ferreira et al., 2008), rica em carboidratos não fibrosos (Wanderley et al., 2002; Ferreira et al., 2008) e nutrientes digestíveis totais (Melo et al., 2003), a palma forrageira apresenta baixos teores de fibra em detergente neutro (Ferreira et al., 2008; Cavalcanti et al., 2008). Entretanto, é relevante sua importância como fonte energética de menor custo e disponível em regiões semiáridas (Melo et al., 2003).

2.2. Sistemas de plantio

No estado de Pernambuco predomina três cultivares de palma forrageira, a Gigante ou graúda, a Redonda e a Miúda ou doce. A mais comum é a palma Gigante que, junto com a palma Redonda, têm mostrado mais rusticidade que a cultivar Miúda. O clone IPA-20, material obtido por cruzamento seguido de seleção, tem alcançado excelente aceitação pelos produtores (Santos et al., 2002).

A melhor época para o plantio da palma é no terço final do período seco, ao contrário de outras culturas forrageiras. É realizado por meio do artigo ou cladódios, também chamado de raquete ou de “folha” pelo produtor (Santos et al., 2002). O plantio no período seco é importante para evitar o apodrecimento das raquetes, que pela umidade excessiva no início da estação chuvosa, ocasiona uma maior contaminação por fungos e bactérias (Silveira & Albuquerque et al., 2000; Cruz et al., 2009).

Lopes et al. (2009a) trabalhando com palma Gigante observaram que as maiores perdas de umidade pelos cladódios ocorrem nos períodos de cura de 24 e 32 dias, os quais favorecem o enraizamento da palma; enquanto que o melhor período de cura, do ponto de vista da quantidade e enraizamento dos cladódios, é de 32 dias, quando estes são plantados aos 15 e 20 dias após a cura.

Testando três posições de plantio da palma doce (na vertical, inclinada 45° vértice leste e inclinada 45° vértice oeste), Lopes et al. (2009b) concluíram que as formas de plantio não diferiram estatisticamente na produção de cladódios/planta

em palma doce, genótipo Palmepe - PB1; sendo que na forma de plantio em que se utilizou o cladódio na vertical, houve um pequeno acréscimo na produção de cladódios/planta, obtendo-se um ganho significativo de massa verde.

Em relação à incidência de luz natural, esta deve ser absorvida pelos pigmentos fotossintéticos, principalmente pela clorofila, para que ocorra a fotossíntese. Os comprimentos de onda envolvidos se encontram na faixa do visível do espectro eletromagnético (entre 400 e 700 nanômetros), radiação fotossinteticamente ativa, e são considerados como fluxo de fótons fotossintético (FFF). Os cladódios que têm uma orientação favorável quanto à captação dos FFF, têm uma captação atmosférica do CO₂ maior que os cladódios com outra orientação ou que estejam com sombreados. Uma captação atmosférica maior de CO₂ pelo cladódio resulta num aumento da produção de cladódios filhos. Uma orientação leste-oeste maximiza a captação de FFF e, portanto, a captação atmosférica de CO₂ anual (Nobel, 2001). Segundo esse mesmo autor no campo há mais cladódios que estão na direção leste/oeste. Em contraste a essa recomendação, Peixoto (2009), trabalhando com a cultura no Estado do Ceará concluiu que posição no plantio da palma forrageira pode ser Leste/Oeste ou Norte/Sul, não influenciando seu desempenho produtivo.

A palma forrageira é uma cultura relativamente exigente quanto às características físico-químicas do solo. Desde que sejam férteis, podem ser indicadas áreas de textura arenosa à argilosa, sendo, porém mais frequentemente recomendados os solos argilo-arenosos. Além da fertilidade, é fundamental também, que os solos sejam de boa drenagem, uma vez que áreas sujeitas a encharcamento não se prestam ao cultivo da palma (Santos et al., 2002), pois a planta é muito suscetível à deficiência de oxigênio.

Em relação à erosão dentro de áreas cultivadas com palma forrageira, Albuquerque et al. (2005) trabalhando na região de Sumé na Paraíba, constataram que a perda de solo em cultivos morro abaixo foi de 36,36 Mg ha⁻¹, enquanto que quando cultivada em nível, essa perda foi de 15,40 Mg ha⁻¹. Os autores concluíram que o plantio em nível dessa cultura é uma importante prática conservacionista que reduz o processo de perdas de solo em 53,8%.

2.3. Adubação

A adubação da palma, independentemente da cultivar utilizada, ocorre incremento da área foliar e de matéria seca, refletindo no crescimento da planta e, conseqüentemente, na produtividade, o que acontece também para o plantio adensado e para a adubação orgânica associada à adubação química (Almeida, 2011). Os experimentos com adubação em palma forrageira no Brasil evidenciaram respostas significativas da cultura às adubações realizadas tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo (Leite, 2009).

Alves et al. (2007) ao adicionarem esterco nas parcelas em que a palma foi cultivada, observaram que o conteúdo de nitrogênio total do solo manteve-se acima do conteúdo de nitrogênio total do solo sob caatinga, o que reforça a importância da adubação orgânica na manutenção da fertilidade do solo.

Em trabalho realizado no Ceará com a cultivar *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill), Peixoto (2009) estudou o cultivo da palma adubada com esterco bovino, em condição de sombreamento ou não, e concluiu que a adubação orgânica e o plantio sob o sol induzem a um melhor desempenho da palma forrageira.

Para Teles et al. (2002) o nível de adubação é fator determinante na produção de massa verde. Os autores em estudos com palma Gigante, concluíram que a deficiência de fósforo reduz o número total de cladódios/planta, sendo um fator limitante da capacidade produtiva, mostraram também que o acréscimo de nitrogênio promoveu aumento do número total de cladódios/planta.

Carvalho Filho et al. (2002) recomendaram adubação com fósforo, potássio e uso de calcário para implantação de palmal adensado, conforme análise de solo da área, além de adubação com esterco da ordem de 10 Mg ha⁻¹. Santos et al. (2002) recomendaram adubação orgânica com esterco bovino ou caprino, da ordem de 10 a 30 Mg ha⁻¹ no plantio e posteriormente a cada dois anos, após o corte, ainda preconizam a utilização de 30 Mg ha⁻¹ quando o plantio for adensado.

Provavelmente, devido ao extenso sistema radicular da palma, Alves et al. (2007) constataram em seus estudos, uma menor quantidade de potássio no solo cultivado com palma quando comparado ao solo sob caatinga nativa e concluíram que a cultura é bastante exigente nesse elemento. Os resultados corroboram com os de outros autores, que constataram que o potássio é um dos macronutrientes mais absorvidos pela palma.

Segundo Lima (2006), deve-se fazer a adubação no início das chuvas, efetuando adubação orgânica com 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de estrume de curral. A adubação química deve ser recomendada com base na análise de solos.

Santos et al. (2002) compararam a produtividade da palma adubada com a não adubada, em São Bento do Una, Pernambuco. Os autores observaram um aumento da ordem de 81% na produção com a utilização de 10 Mg ha⁻¹ de esterco de curral e de 29% com a adubação utilizando a fórmula N; P₂O₅ e K₂O, (50, 50 e 50 kg ha⁻¹ respectivamente).

Teles et al. (2002) trabalhando com palma forrageira cultivar Gigante cultivada em vaso e adubada e/ou tratada com nematicida, observaram que o grupo dos tratamentos que continha solução de macronutrientes completa (contendo N, P, K, Ca, Mg e S) apresentou maior produção de matéria seca em relação ao grupo das testemunhas, evidenciando o efeito da fertilização do solo na produção de matéria seca da palma forrageira. Os mesmos autores, considerando a composição mineral da palma, registraram elevada extração de minerais, o que sinaliza a importância de reposição desses nutrientes em áreas de cultivo.

Santos et al. (2002) em sua revisão apresentam os valores da extração de nutrientes pela cultura da palma forrageira de 90; 16; 258 e 235 kg ha⁻¹, para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca, admitindo-se teores de N, P, K e Ca de 0,9; 0,16; 2,58 e 2,35 dag kg⁻¹, respectivamente.

Segundo Dubeux Junior & Santos (2005) o adensamento de plantio associado à falta de adubação com micronutrientes, após colheitas sucessivas, podem propiciar o aparecimento de problemas relacionados à deficiência desses micronutrientes no solo, prejudicando o desenvolvimento da palma. Os autores recomendam a reposição de micronutrientes via adubação orgânica ou por meio de fertilizantes químicos.

A palma forrageira prefere solos com alto teor de cálcio e magnésio com pH elevado, próximo de 7. Dentre os micronutrientes, o boro parece exercer papel fundamental no crescimento da palma forrageira (Sampaio, 2005).

Segundo Franco-Salazar & Véliz (2007), a palma não cresce bem em solos com altos teores de sódio (Na), característicos dos solos salino-sódicos. Nobel (2001), afirma que o Na no solo inibe o crescimento do sistema radicular da palma

além de reduzir a fixação de CO₂. Por outro lado, a palma forrageira por apresentar altos conteúdos de cálcio (até 5% na MS) e magnésio (até 2% na MS), cresce e desenvolve melhor em solos com bom suprimento desses nutrientes e pH próximo de sete (Germano et al., 1999). Em geral, a palma requer solos de boa fertilidade e bem drenados e nas condições do semiárido brasileiro, o crescimento é limitado, principalmente, pela deficiência hídrica no solo.

Como os teores de sódio nos cladódios são baixos e a palma cresce melhor em solos com baixa salinidade, isso acarreta a necessidade de suprimento desse elemento aos animais que utilizam palma (Sampaio, 2005).

Adubação Orgânica

A adubação orgânica é uma prática antiga que consiste na utilização de resíduos vegetal e animal para o fornecimento de nutrientes às plantas, normalmente após um processo de compostagem, aproveitando os recursos existentes na propriedade (Busato, 2008), com a finalidade de aumentar a sua produtividade (Myiasaka et al., 1984).

É considerada componente chave da qualidade do solo, constituindo-se um dos principais responsáveis pela sustentabilidade dos sistemas agropecuários, atuando em processos relacionados à ciclagem de nutrientes, disponibilidade hídrica e de oxigênio, temperatura e atividade biológica no solo (Boeni, 2007).

É notório os benefícios da aplicação de compostos orgânicos para a agricultura, pois além de fornecer nutrientes, a matéria orgânica desses materiais estimula a atividade biológica, potencializa a retenção de água e a formação de agregados no solo e também altera a composição das substâncias húmicas (Chaoui et al., 2003; Yagi et al., 2003; Nardi et al., 2004; Rivero et al., 2004; Adani & Tambone, 2005; Alvarado, 2003), melhorando a conservação do solo, pois aumenta os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total (Leite et al., 2003).

A adição de matéria orgânica ao solo promove uma série de benefícios, que refletem sobre os rendimentos das culturas (Kiehl, 1985). Influencia significativamente os teores de nutrientes da parte aérea da palma, bem como aumenta o teor de matéria seca (Leite et al., 2003).

Uma das principais vantagens é a incorporação de nutrientes, os quais ficam disponíveis para a planta após a mineralização da matéria orgânica. A

mineralização depende da temperatura, da umidade, do pH, da aeração do solo e das perdas do nutriente por lixiviação (Ferreira et al., 2003b). A taxa de mineralização depende também da quantidade de nutriente que foi imobilizado e o que está disponível.

No semiárido, em função do baixo índice pluviométrico, a velocidade de decomposição dos esterco (bovino, caprino, ovino e asinino) é mais lenta na superfície do solo. Em seis meses a decomposição do esterco incorporado a uma profundidade de 10 cm é de 45% e na superfície do solo apenas 15% (Souto et al., 2005).

Segundo Dubeux Junior & Santos (2005), nos experimentos analisados com adubação orgânica houve tendência linear de aumento de produtividade da palma forrageira em função do aumento da dose de esterco (0; 10 e 20 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). Esses mesmos autores descrevem que no sistema Mexicano de produção de brotos de palma os produtores trabalham com níveis que variam de 100 a 200 Mg ha⁻¹ ano de esterco, já Alvarado (2003) cita a utilização de doses de esterco ainda maiores (200, 400, 600 e 800 Mg ha⁻¹) na produção de brotos de palma (nopalitos) no México.

Hills (2001) relata que o sistema radicular da palma forrageira se caracteriza por raízes superficiais e carnosas, com uma distribuição horizontal, sendo que as plantas fertilizadas periodicamente com esterco desenvolvem raízes suculentas não ramificadas e com profundidades de 10 a 20 cm. Sampaio (2005) recomenda um maior cuidado ao realizar capinas com enxadas ou outros implementos no palmar, por correr riscos de danificar as raízes superficiais, o que favorece o ataque de patógenos.

A adubação orgânica na presença da adubação química proporciona maiores produções de matéria seca dos cladódios da palma, para o gênero *Opuntia* (Teles et al., 2002).

Atualmente a pesquisa Pernambucana recomenda doses que variam de 20 a 30 Mg ha⁻¹ de esterco no plantio e a cada colheita (Dubeux Junior & Santos, 2005).

2.4. Espaçamento

O espaçamento de plantio da palma forrageira, como estratégia de manejo, é um ponto importante no estabelecimento do palmal. Varia de acordo com a fertilidade do solo, quantidade de chuvas, finalidade de exploração e com o consórcio a ser utilizado.

Tem sido pesquisado no Brasil com a finalidade de se encontrar as distâncias entre linhas e plantas que se ajustem melhor aos sistemas de produção adotados pelo produtor (Oliveira Jr. et al., 2009). O espaçamento menos adensado tem facilitado os tratos culturais com tração animal, importante para a agricultura familiar do semiárido, além de minimizar os riscos de pragas e doenças na cultura, por permitir uma maior exposição das plantas ao sol (Teles et al., 2002). Desse modo, uma maior área total de exposição à luz, indica um maior potencial produtivo da planta (Larcher, 2000; Viana et al., 2008; Taiz & Zeiger, 2009).

O cultivo da palma forrageira em espaçamento adensado é de uso mais recente. Nesses espaçamentos, os tratos culturais e a colheita são dificultados, aumentando os gastos com a mão de obra (Teles et al., 2002).

O plantio adensado da palma forrageira com adubação visa um incremento na produção de forragem, reduzindo a vulnerabilidade das propriedades rurais aos períodos de seca, contribuindo para a preservação da vegetação nativa devido à diminuição da pressão de pastejo com o aumento da oferta de forragem para os rebanhos nesse período (Almeida, 2011).

Vários espaçamentos são utilizados no plantio da palma forrageira no Nordeste. Carvalho Filho et al. (2002) recomendaram plantio adensado de 2,0 x 0,25 m quando comparado ao plantio convencional de 2,0 x 0,50 m, observando que esse espaçamento permite o plantio intercalar de culturas normalmente cultivadas como feijão, sorgo, milho entre outras, possibilitando a diminuição do custo de manutenção do palmal. Nesse sistema a colheita ocorre a cada dois anos e o primeiro corte acontece no segundo ano após o plantio.

As maiores produções de cladódios de palma, expressas tanto em massa verde como em matéria seca, foram obtidas no espaçamento de 2,0 x 1,0 m, embora as de produções apresentadas em matéria verde não tenham sido diferentes, entre os espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,0 x 0,50 m. No

espaçamento 7,0 x 1,0 x 0,50 m foram obtidas as menores produções de matéria verde e seca (Farias et al., 2000).

Alves et al. (2007) trabalhando com dados de 19 anos de cultivo de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill), no Agreste de Pernambuco, cultivada em diferentes espaçamentos de plantio (2,0 x 1,0 m; 3,0 x 1,0 x 0,5 m e 7,0 x 1,0 x 0,5 m) não encontraram diferenças sobre a produtividade de biomassa, independentemente do espaçamento.

A produção de forragem de palma é maior na frequência de corte de quatro anos, em relação à de dois anos, quando são conservados apenas os cladódios primários (Farias et al., 2000).

Os teores de matéria seca e proteína bruta dos cladódios de palma são pouco afetadas pelos espaçamentos, frequências e intensidades de corte (Farias et al., 2000).

Cruz et al. (2009) preconizam que quando o objetivo é realizar cortes a cada dois anos para obter uma maior produção, pode-se optar por plantio em sulcos com espaçamento adensado de 1,0 x 0,25 m, que demandará mais adubação e capinas. O cultivo adensado da palma (espaçamentos de 1,0 x 0,25 m e/ou 1,0 x 0,5 m) tem sido recentemente usado para obtenção de altas produtividades. Quando o objetivo é a consorciação com culturas alimentares ou forrageiras, o espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,5 m poderá ser utilizado com a vantagem de permitir tratos culturais com tração motorizada, dependendo da necessidade do produtor.

Quando se pretende fazer cortes a cada dois anos para obter maior produção, pode-se optar por plantio em sulcos em espaçamento adensado de 1,0 x 0,25 m, que demandará mais adubação e capinas ou herbicidas. Com espaçamento adensado, observa-se sintomas de amarelecimento do palmal em vários locais, podendo concluir que este problema seja devido à deficiência de algum nutriente no solo, ou ainda ao aparecimento de nematóides, que podem estar inibindo a absorção de algum nutriente pela cultura (Santos et al., 2002).

Com espaçamentos mais adensados, podem-se alcançar maiores produções, mas os custos de estabelecimento do palmal são maiores e os tratos culturais ficam mais difíceis e não permitem consorciação com outras culturas (Farias et al., 2000).

O emprego de espaçamentos em fileiras duplas, mais espaçadas, pode permitir a utilização de consórcio durante toda a vida útil do palmar, favorecendo a produção de grãos e restolhos de culturas para o produtor que optar por esse sistema, possibilitando um melhor emprego da mecanização no controle das ervas daninhas. Esse sistema também facilita a colheita e transporte, podendo também contribuir para reduzir os riscos de incêndio no palmar e controlar a erosão em áreas de cultura (Farias et al., 2000).

Lima (2006) recomendou efetuar o plantio dois meses antes do início da estação chuvosa, escolhendo os seguintes tipos de espaçamento, 1,0 x 0,50 m (20.000 plantas ha⁻¹) e 1,0 x 0,25 m (40.000 plantas ha⁻¹).

A palma também é cultivada em consórcio com outras culturas, seja alimentar como feijão macassar, milho, mandioca entre outras, ou forrageiras como sorgo e guandu. Segundo Santos et al. (2002) a palma em fileiras duplas de 3,0 x 1,0 x 0,50 m cultivada para fins de consórcio, com culturas alimentares ou forrageiras, tem ainda a vantagem de possibilitar os tratos culturais com tração motorizada.

Em experimento realizado na região do Agreste Paraibano, Oliveira Junior et al. (2009), trabalhando com quatro espaçamentos de palma forrageira cultivar Italiana (1,0 x 1,0 m; 1,0 x 0,50 m; 2,0 x 1,0 m e 2,0 x 0,50 m), não encontraram diferenças sobre o número de cladódios por planta e por ordem, perímetro, comprimento, espessura e área de cladódio, contudo, houve diferença na largura de cladódio e altura de plantas. Os autores não verificaram efeito dos tratamentos sobre o número de cladódios por planta aos 270 dias após o plantio, observando uma média de sete cladódios por planta e atingindo onze cladódios aos 330 dias após plantio.

Rangel et al. (2009) cita que a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) (1997), desenvolve pesquisas com palma desde 1958, e vem difundindo atualmente plantios adensados da cultura (1,0 x 0,25 m), com 40.000 plantas ha⁻¹ e potencial de produção superior a 200 Mg ha⁻¹ de matéria verde, dois anos após o plantio. Essa tecnologia possibilita que a produção de um hectare de palma, alimente 30 vacas durante 180 dias no período de seca.

2.5. Condução

Resultados experimentais mostraram que a palma se beneficia, em termos de produtividade e longevidade, quando não se faz uma redução drástica da superfície fotossintetizante, ou seja, a colheita de cladódios. Assim, para cultivos onde se utiliza espaçamentos menores ou se adota culturas intercalares como feijão, sorgo, milho ou algodão, deve-se deixar todos os cladódios primários, enquanto que, para cultivo em fileiras duplas, deve-se deixar todos os cladódios secundários (Santos et al., 2002).

As produções de forragem são menores quando se conserva os cladódios secundários nas duas primeiras colheitas realizadas, enquanto nas colheitas subsequentes, as produções são maiores quando esses cladódios são conservados. Esses resultados podem ser explicados pela menor quantidade de cladódios terciários e subsequentes nas primeiras colheitas realizadas, enquanto nas colheitas seguintes existem maior quantidade de cladódios distribuídos na planta, o que aumenta a superfície fotossintetizante, que é considerada baixa na cactácea (Farias et al., 2000).

A expansão da cultura e o plantio adensado podem contribuir para uma maior incidência das doenças, justificando estudos mais detalhados, principalmente no que se refere às medidas de controle. É provável que a baixa severidade das doenças na palma esteja relacionada com o sistema tradicional de cultivo desta cactácea em Pernambuco (Santos et al., 2002).

Em se tratando dos cuidados com a palma, a mesma deve ser capinada e roçada, pois, o produtor rural poderá ter um acréscimo de até 100% de produtividade em comparação ao plantio sem tratos culturais (Silveira & Albuquerque et al., 2000).

2.6. Utilização

A grande diversidade de usos e aplicações da palma forrageira revela a versatilidade dessa espécie vegetal. A palma é utilizada na alimentação humana (frutos, broto de palma, doces, sucos), produção de corantes, conservação de solo, quebra ventos, medicinal, produção de cosméticos, produção de energia (biomassa) (Chiacchio et al., 2006).

Seu uso na alimentação animal não tem sua potencialidade explorada plenamente. Em consequência, são desperdiçadas excelentes oportunidades para melhoria dos índices sociais e econômicos desse espaço geográfico, mediante a geração de postos de trabalho, renda, oferta de alimentos e preservação ambiental (Chiacchio et al., 2006).

Em recente levantamento para o Estado da Bahia, Almeida (2011) descreve que essa cactácea é utilizada basicamente para a alimentação animal por 100% dos produtores que a cultivam.

O seu uso de maneira indiscriminada na dieta de animais pode provocar vários problemas como diarreia, baixo consumo de matéria seca, perda de peso e redução no teor de gordura do leite em vacas lactantes. No entanto, em dietas adequadamente balanceadas, principalmente no que diz respeito à relação entre carboidratos fibrosos e não-fibrosos, têm sido observadas altas proporções de palma forrageira sem comprometimento do desempenho animal (Ferreira et al., 2008).

O fornecimento único dessa cactácea não possibilita atender às necessidades nutricionais do rebanho, considerando, notadamente, sua limitação protéica e de fibra. Dessa forma, para adequar a dieta, torna-se necessário que o produtor recorra a outros meios disponíveis de suplementação alimentar, através do uso de volumosos e de fontes de proteína (Albuquerque et al., 2002).

Animais alimentados com quantidades elevadas de palma, comumente, apresentam distúrbio digestivo (diarreia), o que, provavelmente, está associado à baixa quantidade de fibra nessa forrageira. Daí a importância de complementá-la com volumosos ricos em fibra, a exemplo de silagens, fenos e capins secos (Albuquerque et al., 2002). A palma pode participar em até 40 a 50% da matéria seca da dieta dos bovinos e deve ser fornecida misturada a outros alimentos (Santos et al., 2002).

É de caráter imperativo, quando da utilização da palma forrageira, a necessidade da sua associação a alimentos volumosos com teores consideráveis de fibra efetiva. Assim, a escolha do volumoso a ser associado à palma deverá considerar, principalmente, o equilíbrio entre carboidratos fibrosos e não-fibrosos na dieta, além do aspecto financeiro (Ferreira et al., 2008).

Aspectos como o fornecimento na forma de dieta completa e a associação com volumosos e fontes de nitrogênio, constituem premissas máximas quando do uso da palma forrageira. É possível fornecê-la em grande quantidade para animais ruminantes, independente da espécie e do estágio fisiológico, bem como da finalidade do sistema de produção (Ferreira et al., 2008).

Depois de colhida, a palma pode ser armazenada à sombra por um período de até 16 dias, sem perda do valor nutritivo e comprometimento da produção de leite, o que pode representar uma redução dos custos com colheita e transporte (Santos et al., 2002).

Pode ainda ser utilizada na forma de farelo. Segundo Vêras et al. (2005), a palma é cortada, picada, seca ao sol por cerca de três dias e depois desintegrada para então se tornar farelo de palma. Os autores estudaram a substituição do milho por farelo de palma na ração de ovinos em crescimento e observaram que a adição do farelo de palma às dietas não alterou o consumo de matéria seca, porém diminuiu o consumo de energia e o ganho de peso, não tendo, portanto, condições de substituir o milho para a alimentação de ovinos em crescimento. Os autores concluíram que é inviável economicamente a substituição do milho moído pelo farelo de palma na dieta de ovinos em crescimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição das condições experimentais

O experimento foi instalado na fazenda do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IF Baiano), *Campus* Guanambi, localizada no Distrito de Ceraíma, Município de Guanambi, Estado da Bahia conforme croqui da área (Figura 1).

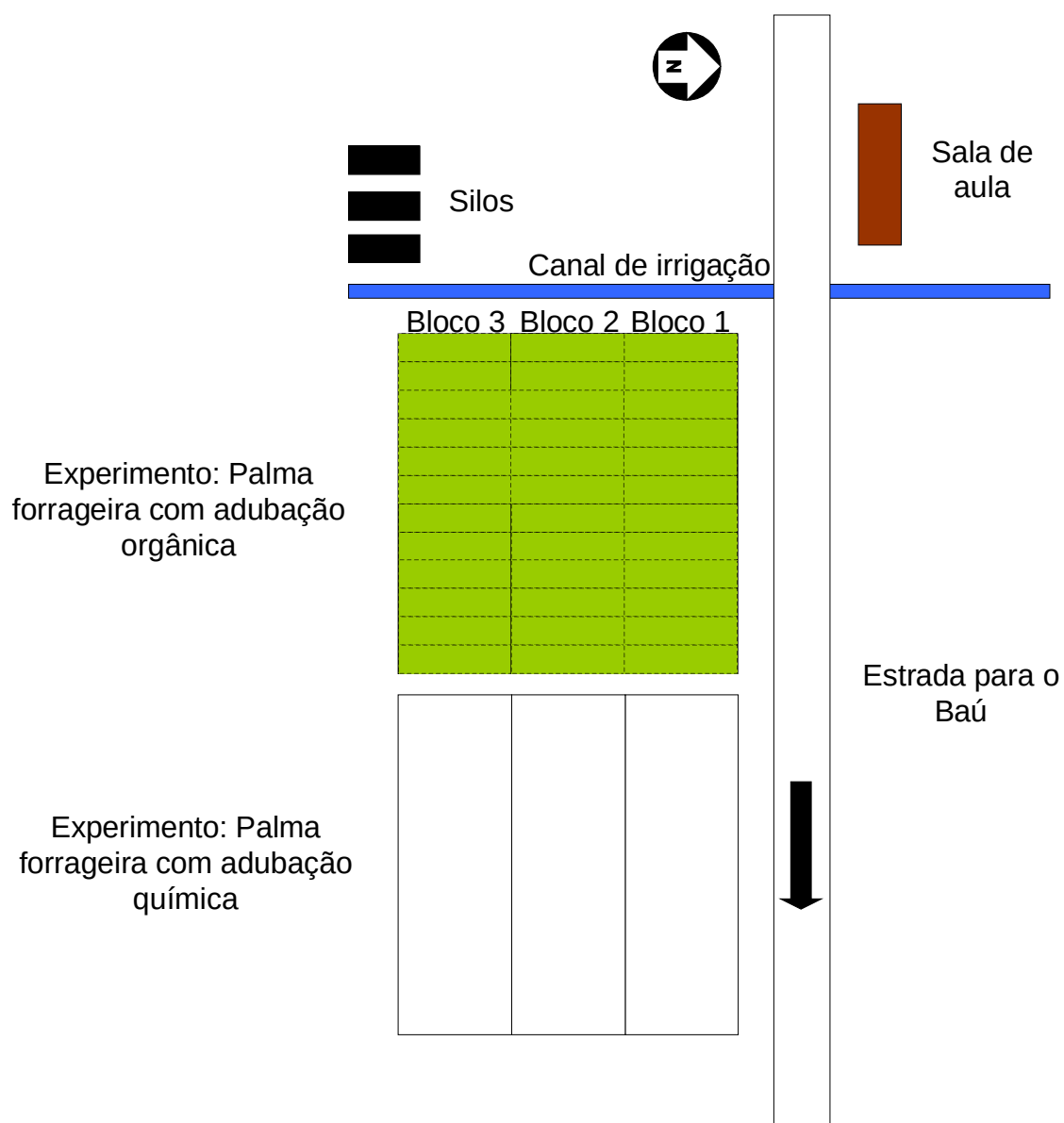


Figura 1. Croqui da área experimental

A implantação do palmar ocorreu em 15 de setembro de 2009, antes do período chuvoso, o qual teve início no mês de outubro, ocorrendo a primeira chuva no dia 8 de outubro. O palmar foi estabelecido em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, A fraco, textura média, fase Caatinga hipoxerófila, relevo plano a ondulado suave (Embrapa, 1999; Embrapa/Sudene, 1979).

O Município de Guanambi pertencente à Microrregião de Guanambi, esta localizado no Sudoeste Baiano, a 108 km da margem leste do Rio São Francisco e a 100 km da divisa Minas-Bahia na direção do Município de Espinosa – MG, com latitude 14°13'30" sul, longitude de 42°46'53" oeste de Greenwich, altitude de 525 m com clima semiárido, e as seguintes médias anuais: precipitação 671,8 mm, temperatura 26 °C, umidade relativa 63,08%, evaporação de referência (Eto) média diária igual a 6,50 mm dia⁻¹, insolação média diária de 8,09 h dia⁻¹ e velocidade do vento de 2,60 m s⁻¹ (Codevasf, 2007).

O Município de Guanambi pertence ao Polígono das Secas (MI, 2005), possui uma distribuição irregular de chuva, permanecendo com um período de estiagem relativamente extenso, cerca de sete meses (Codevasf, 2007; MI, 2005), situação que dificulta a produção de forragem.

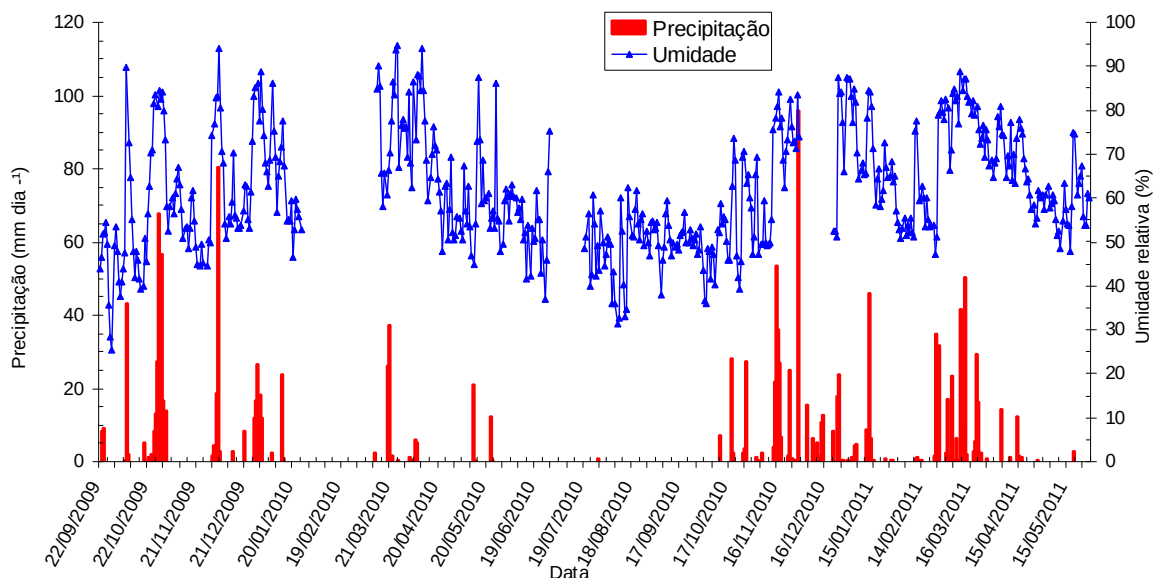


Figura 2. Precipitação e umidade relativa na área do palmar durante o período de 2009 a 2011, Guanambi, BA

A Figura 2 apresenta a distribuição de chuvas e umidade relativa e a Figura 3 apresenta as temperaturas mínima, máxima e média, referentes ao período da implantação do experimento até a colheita do mesmo (22/09/2009 a 29/05/2011).

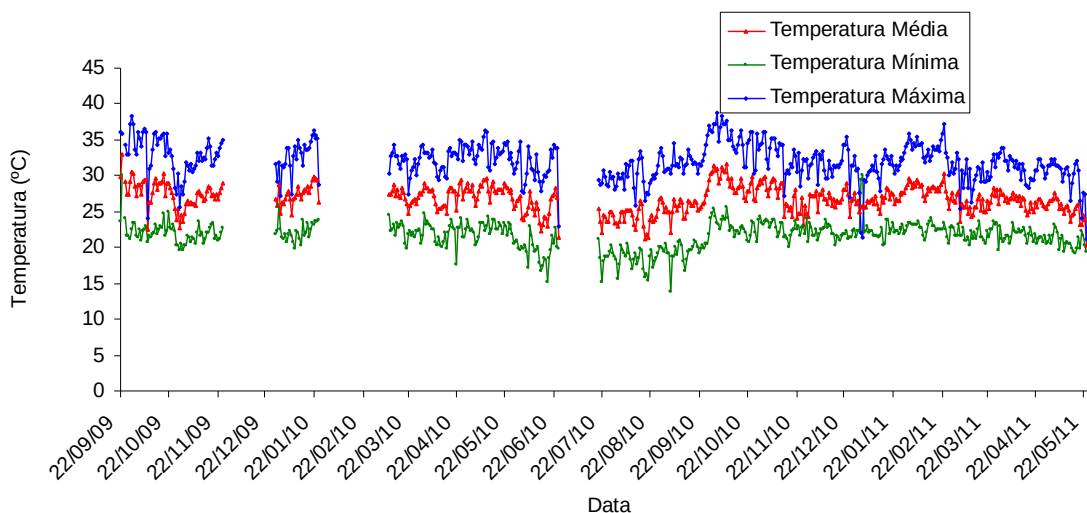


Figura 3. Temperaturas média, mínima e máxima na área do palmar durante o período de 2009 a 2011, Guanambi, BA

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 4 X 3, sendo o primeiro fator constituído de quatro doses de adubação orgânica (0; 30; 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator de três espaçamentos (1,0 x 0,5; 2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m). Foi utilizado três repetições totalizando 36 unidades experimentais. A área da parcela foi de 64 m² (16 x 4 m), com área da parcela útil de 16 m² (8 x 2 m) e área total de 2.304 m² (Figura 4).

Nos espaçamentos de plantio utilizados, manteve-se a mesma densidade populacional, 20.000 plantas ha⁻¹. No campo os tratamentos foram identificados conforme Tabela 1.

3.3 Operações realizadas

3.3.1. Limpeza do terreno

O terreno anteriormente ocupado com a cultura do sorgo forrageiro foi roçado utilizando uma roçadeira de facão acoplado aos três pontos do trator. Os

tocos que ainda permaneciam na área após a roçagem foram arrancados manualmente e os buracos devidamente entupidos (Figura 5A).

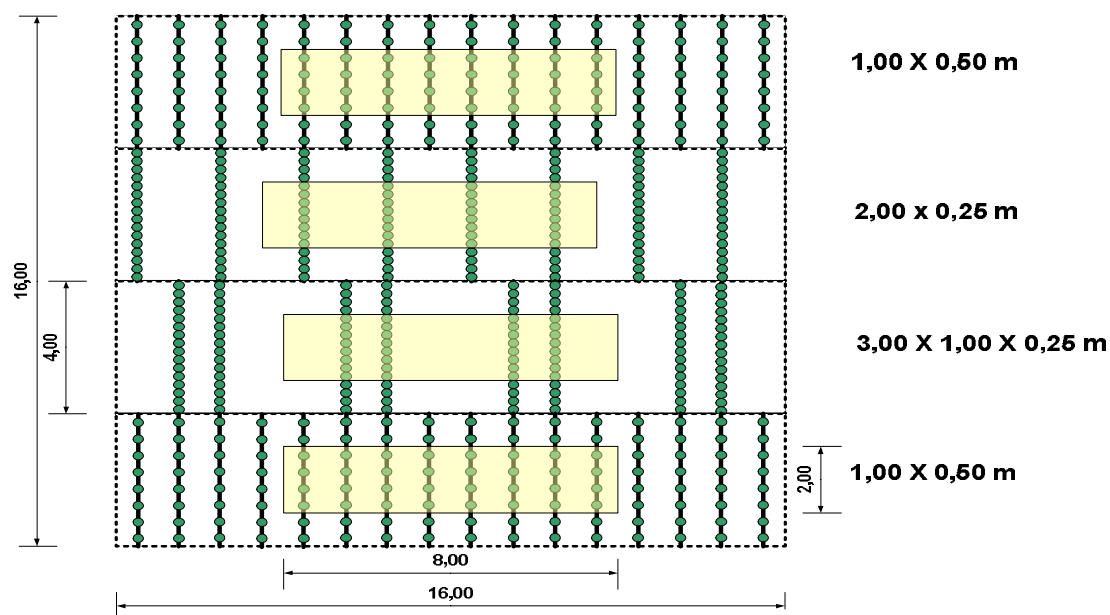


Figura 4. Identificação da parcela útil na área experimental

Tabela 1. Identificação dos tratamentos - detalhamento dos fatores, espaçamentos e doses de esterco bovino aplicadas ao solo, e seus respectivos níveis

Nº Tratamento	Espaçamento (m)	Doses esterco (Mg ha ⁻¹)	Código
1	1,0 x 0,5	0	E100
2	1,0 x 0,5	30	E130
3	1,0 x 0,5	60	E160
4	1,0 x 0,5	90	E190
5	2,0 x 0,25	0	E200
6	2,0 x 0,25	30	E230
7	2,0 x 0,25	60	E260
8	2,0 x 0,25	90	E290
9	3,0 x 1,0 x 0,25	0	E300
10	3,0 x 1,0 x 0,25	30	E330
11	3,0 x 1,0 x 0,25	60	E360
12	3,0 x 1,0 x 0,25	90	E390

3.3.2. Marcação e coleta de amostras de solo da área

Após a roçada foi feito o esquadrejamento e a marcação da área utilizando tornos de madeira com cerca de 50 cm de comprimento. Os tornos foram fixados

nas extremidades da área com a finalidade de demarcar os blocos e as parcelas conforme Figura 4.

Utilizando de cordões, a área já piqueteada, foi dividida totalizando 36 quadras de tamanhos iguais (16 x 4 m), onde, posteriormente foram coletadas as amostras de solo.

Foram coletadas cinco amostras de solo simples em cada parcela experimental, homogeneizadas, e posteriormente foi retirada uma amostra composta, totalizando 36 amostras de solo (uma para cada unidade experimental). As mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos novos e devidamente identificadas em relação à posição que ocupava dentro da área experimental. Posteriormente foram encaminhadas ao laboratório de Análises de Solo da UESB, *Campus* de Vitoria da Conquista, para as determinações químicas e físicas. A Tabela 2 apresenta os resultados das análises químicas de solo e a Tabela 3 o resultado das análises físicas de cada parcela experimental, conforme Embrapa (1997).

3.3.3. Preparo do solo

Após a retirada das amostras de solo, os cordões que marcavam as parcelas experimentais foram recolhidos para que as máquinas pudessem preparar o solo.

Subsolagem

O terreno foi subsolado à profundidade de 35 cm utilizando um subsolador de arrasto com cinco hastes, tracionado por trator com tração auxiliar na dianteira e potência de 110 cv no motor (Figura 5B).

A regulagem do subsolador obedeceu à seguinte ordem: ponteira com 7 cm de largura, a profundidade foi estabelecida em função do valor de cinco vezes a largura da ponteira (35 cm) e a distância entre hastes de 50 cm, ficando a profundidade referente a 70% do espaçamento entre hastes.

O terreno foi subsolado no sentido leste oeste, mesmo sentido em que os sulcos de plantio foram abertos.

Tabela 2. Resultados médios das análises químicas do solo referente às áreas ocupadas pelos blocos 1, 2 e 3

Parâmetros	Unidade	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3
pH		5,6	5,33	5,33
P	mg dm ⁻³	27,25	10,75	11,00
K ⁺	cmol _c dm ⁻³ de solo	0,28	0,27	0,31
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³ de solo	2,44	1,93	1,68
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³ de solo	0,89	0,92	0,88
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³ de solo	0,11	0,19	0,17
H ⁺	cmol _c dm ⁻³ de solo	1,69	1,67	1,71
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³ de solo	0,00	0,07	0,06
S.B.	cmol _c dm ⁻³ de solo	3,62	3,13	2,88
t	cmol _c dm ⁻³ de solo	3,73	3,32	3,04
T	cmol _c dm ⁻³ de solo	5,42	4,98	4,75
V	%	66,58	62,42	60,42
m	%	3,08	6,08	5,42
PST	%	0,00	1,00	1,00
M.O.	g dm ⁻³	16,17	14,42	13,42
Cu ⁺	mg dm ⁻³	0,38	0,38	0,33
Mn ⁺⁺	mg dm ⁻³	15,38	18,46	19,00
Zn ⁺⁺	mg dm ⁻³	2,02	1,21	1,03
Fe ⁺⁺	mg dm ⁻³	6,67	6,04	6,25

Tabela 3. Resultados das análises físicas do solo da área experimental

Identificação		Amostra A1	Classe Textural
Frações da Amostra total %	Calhau (200-20 mm)	0	Franco Argilo Arenosa
	Cascalho (20-2 mm)	0	
	Terra fina (<2 mm)	100	
Composição Granulométrica (tfsa g Kg ⁻¹)	A. grossa (2-0,20 mm)	340	
	A. fina (0,20-0,05 mm)	320	
	Silte (0,05-0,002 mm)	140	
	Argila (<0,002 mm)	200	

Aração

Após a realização da subsolagem, o terreno foi arado no mesmo sentido, utilizando um arado de aiveca reversível de controle remoto, com três aivecas, tracionado por trator com potência de 110 cv no motor (Figura 5C). A aração foi

realizada a uma profundidade de aproximadamente 25 cm, no mesmo sentido da subsolagem, utilizando a técnica de preparo do solo conhecida como contra sulco, onde a aração parte do centro da área e cresce em direção às laterais, deixando na parte central da área um pequeno amontoado de solo e sulcos nas duas extremidades laterais.



5A



5B



5C



5D

Figura 5. Roçagem e preparo do solo da área experimental: limpeza com recadeira (5A), subsolagem (5B), aração (5C) e sulcamento (5D)

Gradagem

Em função da grande quantidade de torrões deixados após a operação de aração, foi necessária a realização de uma gradagem, com o objetivo de diminuir a quantidade de torrões na área.

Foi utilizada uma grade aradora com 14 discos de 26 polegadas, tracionada pelo mesmo trator de 110cv de potência no motor. A gradagem foi feita

em quadro de fora para dentro da área, deixando o terreno mais uniforme, facilitando assim o próximo passo.

Sulcamento

O terreno foi sulcado utilizando um sulcador com capacidade de abertura de três sulcos por passada, montado ao sistema hidráulico de três pontos do trator, sendo tracionado por trator de 65 cv no motor (Figura 5D). O sulcador foi regulado de modo a conseguir abertura dos sulcos espaçados de um metro e com profundidade aproximada de 20 cm, sulcos estes abertos no sentido leste/oeste.

3.3.4. Adubação da área

A área foi adubada com esterco de bovinos, proveniente de um único curral, localizado a 30 km de distância da área experimental. O mesmo foi amontoado, ensacado em sacos de ráfia e transportado de caminhão até o local do experimento, em um total de duas cargas. Foram retiradas vinte amostras simples das duas cargas, que posteriormente foram transformadas em uma única amostra com peso médio de 1000 g, que foi embalada, identificada e enviada para análise química no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Os resultados das análises químicas constam na Tabela 4.

Para a distribuição do esterco na área, o mesmo foi pesado em balança de mesa com capacidade de 300 kg, e posteriormente carregado em carreta de trator. A pesagem do esterco foi feita de acordo com a dose experimental, que foi de 0; 30; 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹; sendo que para cada dose em função da área da parcela pesou-se as seguintes quantidades de esterco: 192 kg (30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), 384 kg (60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e 576 kg (90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), perfazendo um total de 10.368 kg de esterco bovino na primeira adubação. Antes da distribuição todos os blocos e parcelas foram devidamente identificados com estacas numeradas contendo o espaçamento e a dose de esterco (Figura 6A e 6B).

Depois de sulcado, os cordões de marcação foram novamente esticados deixando as parcelas marcadas. De acordo com o sorteio experimental cada parcela recebeu sua dose de esterco. O esterco foi distribuído uniformemente dentro do sulco, obedecendo aos limites de cada parcela. A distribuição foi feita

manualmente do saco diretamente para o sulco, sendo os sacos recolhidos da área posteriormente.



6A



6B

Figura 6. Adubação da área experimental com esterco bovino: distribuição das doses nas parcelas experimentais (6A) e vista da área adubada (6B)

Tabela 4. Resultados das análises físico-químicas do esterco de bovino utilizado na implantação do experimento

Parâmetro avaliado		Unidade	Resultados	Métodos de ensaio
Umidade	65°C	%	16,72	
	110°C	%	1,54	
	TOTAL	%	18,26	
Dados base seca	MO	%	63,73	Método oficial - MA
	Cinza	%	36,27	Método oficial - MA
Dados base seca	Carbono total	%	29,98	Método oficial - MA
	Ca total	%	0,17	EPA 3051/APHA 3120B
	Mg total	%	0,02	EPA 3051/APHA 3120B
	K total	%	0,25	EPA 3051/APHA 3120B
	P total	%	0,47	APHA 4500-PC
	N total Kjeldahl	%	0,52	EPA 3051/APHA 3120B
	S total	%	0,23	
	Densidade	g cm ⁻³	0,38	
	pH		7,42	Método oficial - MA
	B total	mg kg ⁻¹	2,10	EPA 3051/APHA 3120B
	Cu total	mg kg ⁻¹	45,18	EPA 3051/APHA 3120B
	Zn total	mg kg ⁻¹	200,54	EPA 3051/APHA 3120B
	Mn total	mg kg ⁻¹	391,81	EPA 3051/APHA 3120B
	Fe total	mg kg ⁻¹	1932,44	EPA 3051/APHA 3120B

Após a distribuição do esterco o mesmo foi incorporado ao solo com o auxílio do sulcador tracionado por trator. O sulcador foi tracionado na lateral do sulco de modo que pudesse jogar terra dentro sulco com esterco. Posteriormente o sulco foi reaberto com o mesmo sulcador para o plantio dos cladódios.

3.3.5. Retirada das mudas

As mudas para a implantação do experimento foram doadas pela Fazenda Alagoinhas, localizada no município de Sebastião Laranjeiras, distante 105 km do local do experimento. As mudas foram provenientes de um único palmal com cerca de 10 anos de plantado com dois anos de intervalo da realização da última colheita. As mudas eram maduras e próprias para plantio. Foram colhidas e selecionadas por uma única pessoa, cortadas na junção entre cladódios com o auxílio de facão, transportadas de carroça do palmal até um local sombreado, onde permaneceram por 13 dias para cicatrização do corte e murchamento e posterior plantio (Figura 7A e 7B). O palmal de onde foram colhidas as mudas apresentava de uma maneira geral limpo e sem problemas com doenças e pragas, em que, principalmente a cochonilha, não foi encontrada em nenhuma das mudas. Todas as mudas que apresentaram ferimentos ou algum tipo de anormalidade foram eliminadas.

O transporte das mudas da Fazenda Alagoinhas até a área experimental foi feito de caminhão. As mudas foram colocadas cuidadosamente no caminhão de modo que não sofressem danos. Foram cobertas com lona para evitar a perda pela estrada e insolação direta.

3.3.6. Plantio das mudas

As mudas, acomodadas em caixas plásticas, foram distribuídas nas parcelas em função dos espaçamentos experimentais ao lado do sulco, na quantidade adequada em função do espaçamento a seguir: oito cladódios (1 x 0,5 m) e 16 cladódios (2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m), para cada 4 m de sulco plantado (Figura 7C). Os cladódios foram colocados em pé com o auxílio do gabarito de plantio desenvolvido pelo Prof. João Abel da Silva, o qual podia apoiar até 16 cladódios na posição de plantio (Figura 7D). O mesmo foi manejado por duas pessoas e, posteriormente, outros dois operários fizeram o chegado da

terra às mudas, para que ficassem de um terço até a metade enterradas, com a finalidade de ficarem bem firmes no solo. O gabarito era então retirado e transportado para outra posição de plantio, e assim, sucessivamente, as mudas foram plantadas obedecendo aos espaçamentos experimentais. A direção dos sulcos foi leste/oeste e os cladódios foram posicionados dentro do sulco com a face exposta ao sol e a espessura no sentido norte/sul.



7A



7B



7C



7D

Figura 7. Colheita e plantio das mudas na área experimental. Murchamento à sombra (7A), mudas curadas (7B), distribuição das mudas ao lado do sulco de plantio (7C) e posicionamento com gabarito e chegamento de terra (7D)

3.3.7. Condução do experimento

Realizado o plantio e após as primeiras chuvas que ocorreram no princípio do mês de outubro, os cladódios começaram a emitir as primeiras brotações (Figura 8A). As primeiras limpezas na área experimental, com o auxílio de

enxadas, foram feitas, uma no mês de novembro de 2009 e outra no mês de fevereiro de 2010.

Ainda no mês de novembro de 2009, ocorreu um ataque de lagartas que foi controlado com a aplicação de deltametrina (Decis 25 CE) na dose de 100 mL 100 L⁻¹ de água.

No mês de setembro de 2010, o palmar foi novamente adubado com esterco bovino provenientes do mesmo curral, obedecendo as mesmas doses de 0; 30; 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

O controle de ervas daninhas, no período de novembro de 2010 a março 2011, foi feito utilizando glifosato (dose de 200 mL 20 L⁻¹ de água), aplicado nas entre linhas da palma forrageira. Foram realizadas três aplicações (Figura 8B).



8A

8B

Figura 8. Condução do experimento. Emissão das primeiras brotações (8A), controle de ervas daninhas com o uso de herbicida (8B)

3.3.8. Coleta de dados

A coleta de dados para as análises teve início no mês de maio de 2011, antes da colheita, com 600 dias da implantação do experimento.

Foram coletadas amostras de tecido do cladódio para determinação do teor de macro e micronutrientes. As amostras foram coletadas com o auxílio de uma serra copo adaptada a uma furadeira à bateria. Um furo com diâmetro de 5 cm era feito no cladódio para a retirada da amostra (Figura 9A e 9B).

O cladódio escolhido para a realização da coleta estava maduro e sustentava de um a dois cladódios. Foram coletadas 10 amostras em cada

tratamento, perfazendo um total de 360 amostras com aproximadamente 25 g de matéria verde cada. Após a coleta, as amostras foram fatiadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 horas. Após a secagem, as mesmas foram moídas em moinho tipo Willey com peneira com crivos de 1 mm, identificadas e acondicionada em potes plásticos e posteriormente enviadas ao laboratório da EPAMIG-URENM (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Unidade Regional Epamig Norte de Minas), para realização das análises.



9A



9B

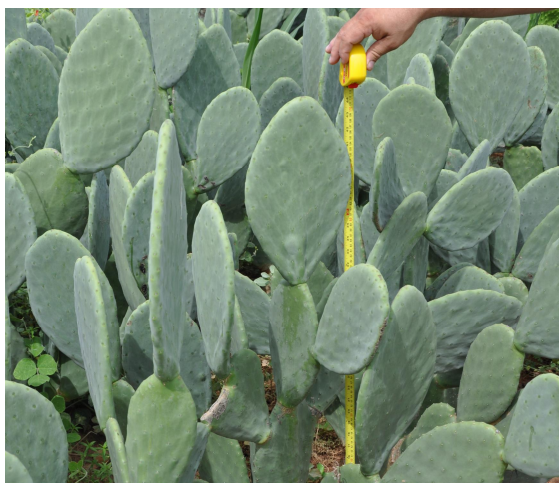
Figura 9. Amostragem de tecido de cladódios para análise do teor de nutrientes e bromatológica (9A e 9B)

Nas amostras de cladódios da palma forrageira foram determinados os seguintes teores de minerais: Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), expresso em dag kg^{-1} ; boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), sódio (Na) e cobre (Cu), expressos em mg kg^{-1} . As determinações analíticas foram procedidas de acordo com Malavolta et al. (1989); Silva, (1999): N, digestão sulfúrica com o método Kjeldahl; P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, e Na, digestão nítrico-perclórica; e B, digestão via seca.

Quatro plantas da parcela útil foram sorteadas dentro de cada tratamento para avaliações das medidas morfológicas, totalizando 144 plantas avaliadas.

Foram realizadas medições de comprimento (CCL), largura (LCL) e espessura dos cladódios (ECL) (Figuras 10B, 10C e 10D); número de cladódios (NCL) e altura da planta (APL) (Figuras 10A). A altura da planta, comprimento e largura dos cladódios foram realizadas com o auxílio de uma fita métrica e a espessura com o auxílio de um paquímetro digital. As áreas dos cladódios (ACL)

foram estimadas com os dados obtidos de largura e comprimento, conforme metodologia descrita por Pinto et al. (2002), na qual a equação para estimativa de área do cladódio é $ACL\ (cm^2) = CCL \times LCL \times 0,693$. Em que o comprimento (CCL), (cm); a largura (LCL), (cm) e 0,693 é um fator de correção em função de forma de elipse do cladódio (Pinto et al., 2002). Em função da área do cladódio e do número de cladódios por planta foi calculado o índice de área do cladódio (IAC). O IAC mensura a área total dos cladódios da planta, levando em consideração os dois lados do cladódio e divide pela área ocupada pela planta no solo (m^2 de área de cladódio m^{-2} de solo), determinando dessa maneira a área fotossinteticamente ativa da planta.



10 A



10 B



10 C



10 D

Figura 10. Avaliações morfométricas. Altura da planta (10A), largura do cladódio (10B), comprimento do cladódio (10C) e espessura do cladódio (10D)

Antes da colheita dos cladódios, foi realizada a amostragem para determinação da composição nutricional (Figura 11A). As amostras foram colhidas com o auxílio de uma serra copo acoplada a furadeira à bateria, coletando cerca de 50 amostras de 25 g em cada tratamento perfazendo um total de 1.250 g. As mesmas foram feitas de modo que todas as ordens de cladódios que seriam colhidos fossem amostradas. Foram pesados 1.000 g de amostra verde, que foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C, por 72 horas. Foram determinados de acordo com a metodologias descritas por Silva & Queiroz (2009): matéria seca (MS), nitrogênio total (NT), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína (FDN_{CP}), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose, celulose, lignina, cinza, extrato etéreo (EE), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) e nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN). A digestibilidade *in situ* da matéria seca (DIS_{MS}) foi determinada, incubando no rúmen de bovino, por um período de 48 horas, com a utilização de sacos de TNT medindo 5 x 5 cm, e utilizando 20 mg de amostra pré-seca por cm².

O fracionamento dos compostos nitrogenados resultou na obtenção das seguintes frações: nitrogênio não protéico (A), proteína verdadeira de degradação enzimática rápida e intermediária (B1 + B2), proteína verdadeira que apresenta degradação enzimática lenta (B3) e proteína indigerível (C), compreendida pelo nitrogênio, determinado no resíduo da fibra em detergente ácido (FDA) e multiplicado pelo fator 6,25. O nitrogênio não-protéico, representado pela fração “A”, foi determinado após o tratamento da amostra com ácido tricloroacético a 10% (Licitra et al., 1996), sendo obtido pela diferença entre o nitrogênio total e o nitrogênio insolúvel. A fração “B3” foi determinada pela mensuração do teor de proteína bruta (PB) no FDN, subtraído do valor de PB encontrado no FDA. As frações “B1 + B2” foram obtidas pela diferença entre o nitrogênio total e as frações A, B3 e C.

As frações que compõem os carboidratos totais (CHT) foram estimadas conforme Sniffen et al. (1992), obtidas com a seguinte fórmula: $CHT = 100 - (PB + EE + MM)$ em que PB corresponde à proteína bruta da amostra, EE ao extrato etéreo e MM às cinzas. Os carboidratos não-fibrosos (CNF), que correspondem às frações “A + B1”, foram estimados pela seguinte fórmula: $CNF = 100 - (PB +$

FDN_{CP} + EE + MM) em que FDN_{CP} corresponde ao FDN, corrigido o seu conteúdo para cinzas e proteína. A fração “B2” (fibra disponível) foi resultante da diferença entre a FDN_{CP} e a fração de fibra indigerível (“C”). A fração “C”, que representa a fibra indigerível, foi estimada por meio da multiplicação do valor percentual da fração de lignina pelo fator 2,4.

As análises foram realizadas no Laboratório de Forragicultura e Pastagens da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *Campus* Juvino Oliveira.

Colheita

A colheita teve início quando o palmar atingiu a idade de 20 meses de plantado (600 dias após o plantio - DAP) (Figura 11B). A mesma foi realizada com o auxílio de uma faca, onde foram preservados três cladódios primários por planta (Figura 11D). A área colhida foi de 16m², correspondendo a 32 plantas de cada tratamento. Os cladódios foram cortados na junção entre eles de modo a não provocar danos nos que permaneceram na planta. Todos os cladódios colhidos foram acondicionados em sacos de ráfia, identificados e posteriormente conduzidos ao galpão para a pesagem (Figura 11C) e determinação da produção de matéria verde (PMV) (Mg ha⁻¹).

A produção de matéria seca (PMS) foi calculada em função do teor de matéria seca (MS) do tratamento multiplicado pela produção de massa verde (PMV), obtendo assim a PMS (Mg ha⁻¹).

A extração/exportação de nutrientes pela palma forrageira foi calculada em função da produção de matéria seca (PMS) e o teor de mineral no cladódio. A mesma foi expressa em kg ha⁻¹ para os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e para os micronutrientes (Cu, B, Zn, Fe, Mn e Na).

3.3.9. Análise dos dados

Os dados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância para verificação da significância das interações entre os fatores testados. Na ocorrência de interações significativas, estas foram desdobradas e procedeu-se uma comparação entre as médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade para os espaçamentos de plantio dentro das doses de esterco

aplicadas ao solo e uma análise de regressão para as doses de esterco aplicadas ao solo dentro dos espaçamentos de plantio.



11A



11B



11C



11D

Figura 11. Amostragem de tecido de cladódio e colheita. Pontos de amostragem para análise bromatológica (11A), parcela útil colhida (11B), pesagem dos cladódios (11C) e planta colhida com preservação de três cladódios primários (11D)

Quando as interações não foram significativas, mas com ocorrência de diferenças significativas a 5% de probabilidade para os fatores principais, procedeu-se uma comparação entre as médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade separadamente para os espaçamentos de plantio e regressão, para as doses de esterco aplicadas ao solo. Para tanto, foi utilizada o programa estatístico SAEG (SAEG, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação estado nutricional da palma forrageira

4.1.1. Macronutrientes

Para fósforo em tecido de cladódios de palma forrageira, não houve efeito de espaçamentos nem da interação entre doses e espaçamentos ($P < 0,05$).

As doses de esterco bovino influenciaram o teor de fósforo nos tecidos dos cladódios a 5% de probabilidade, independentemente dos espaçamentos utilizados.

O teor médio de fósforo foi de $0,19 \text{ dag kg}^{-1}$. Alves et al. (2007) e Teles et al. (2004) encontraram valores médios de fósforo semelhantes aos do presente estudo, da ordem de $0,20 \text{ dag kg}^{-1}$ e de $0,17 \text{ dag kg}^{-1}$, respectivamente. Entretanto, os teores de fósforo encontrados por Alves et al. (2007) variaram com os espaçamentos de plantio. Dubeux Junior et al. (2010) e Galizzi et al. (2004) constataram valores mais altos, da ordem de $0,48 \text{ dag kg}^{-1}$ e $0,24 \text{ dag kg}^{-1}$, respectivamente.

Na Figura 12 observa-se a variação dos teores de fósforo (dag kg^{-1}), avaliada aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira, submetidas à diferentes espaçamentos, em função das doses de esterco bovino. Os teores de fósforo cresceram linearmente em resposta às doses de esterco aplicadas, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados.

Os teores médios de fósforo em tecidos de cladódios de palma forrageira variaram de $0,12 \text{ dag kg}^{-1}$ para o tratamento sem adição de esterco, até $0,24 \text{ dag kg}^{-1}$ correspondente à dose de $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco (Figura 12). O incremento foi de 100% no teor de fósforo.

Segundo Dubeux Junior et al. (2010) os elevados teores de fósforo registrados no seu trabalho ($0,48 \text{ dag kg}^{-1}$) decorrem da fertilidade natural e das elevadas doses de fósforo utilizadas no experimento. Esses autores confirmaram que o aumento da fertilização com fósforo implica em maior absorção e maior acúmulo na matéria seca.

No presente trabalho o teor médio de fósforo no solo encontrado antes do plantio foi de $16,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Menezes et al. (2005) concluíram que o nível crítico de

fósforo no solo para afetar a produção da palma é 11 mg kg^{-1} , embora sem definir para qual classe de solo, e sabe-se que o nível crítico de fósforo no solo é variável com a capacidade máxima de adsorção do elemento (Novais et al., 2007). Apesar disso, apesar do teor de fósforo no solo está acima do nível crítico indicado por Menezes et al. (2005), a adição de fósforo via esterco induziu uma maior absorção desse elemento e seu acúmulo nos cladódios. Este comportamento é esperado, pois como relatam Novais et al. (2007) a adição de esterco e de outras fontes orgânicas ao solo reduz a capacidade de adsorção de fósforo, aumenta o teor de fósforo disponível, e proporciona uma maior mobilidade no perfil do solo, de forma orgânicas solúveis de fósforo (POS), quando comparada a aplicações na forma de fertilizantes químicos, para doses semelhantes de P aplicadas.

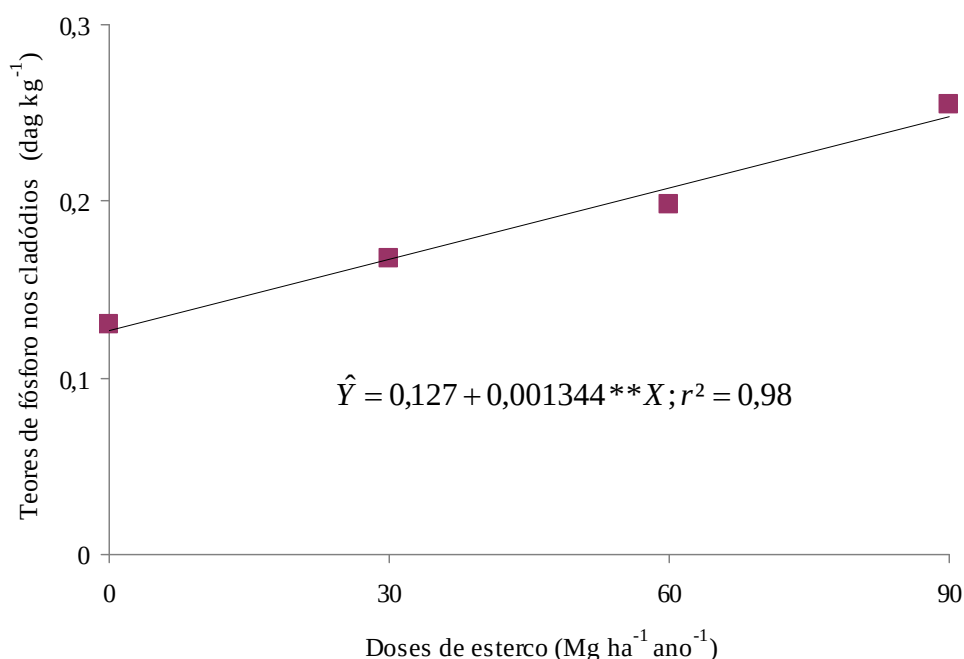


Figura 12. Teores de fósforo (dag kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

Os teores nitrogênio, potássio, enxofre e cálcio em cladódios de palma forrageira constam na Tabela 5. Diferenças ($P < 0,05$) para os teores desses macronutrientes nos tecidos de cladódios de palma forrageira foram observadas entre espaçamentos (Tabela 5) e entre doses de esterco (Figuras 13, 14, 15 e

16), de forma independente, sem ocorrência de interações entre os fatores testados.

A utilização de diferentes densidades de plantio ou população de plantas, ou mesmo do arranjo ou distribuição de plantas na área podem resultar em mudanças na absorção de nutrientes pelas plantas e consequente diferenças nos teores dos elementos nos tecidos. Isto decorre da competição por nutrientes entre as raízes e está intimamente relacionado com a mobilidade dos nutrientes no solo (Novais & Mello, 2007). Novais & Mello (2007) relatam que à medida que aumenta a população de plantas, ou que diminua a distância entre plantas, aumenta a competição das raízes por nutrientes de maior mobilidade no solo, a exemplo do nitrogênio, cálcio, magnésio que são transportados preferencialmente por fluxo de massa, ou mesmo para nutrientes pouco móveis, como potássio e enxofre. Entretanto, para os nutrientes considerados "imóveis", transportados preferencialmente por difusão, de baixo coeficiente de difusão, como fósforo e zinco, a competição só vai existir em pequena ou mínima intensidade e apenas nos casos em que ocorra competição inter-radicular, ou seja, nos locais onde as raízes de duas plantas vizinhas se tocam.

Tabela 5. Médias dos teores de macronutrientes (dag kg^{-1}), aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Macronutrientes (dag kg^{-1})			
	Nitrogênio	Potássio	Enxofre	Cálcio
1,0 x 0,5	1,2 b	3,2 c	0,16 b	2,8 b
2,0 x 0,25	1,4 a	4,3 a	0,19 a	3,4 a
3,0 x 1,0 x 0,25	1,3 ab	3,9 b	0,17 ab	2,9 ab
Média	1,3	3,8	0,17	3,0
CV (%)	9,2	10,0	11,8	15,7

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

O teor médio de nitrogênio foi de $1,3 \text{ dag kg}^{-1}$. Ocorreram diferenças para teor de nitrogênio nos tecidos dos cladódios da palma forrageiras cultivada nos espaçamentos 1,0 x 0,5 m e 2,0 x 0,25 m, com valores de $1,2 \text{ dag kg}^{-1}$ e $1,4 \text{ dag}$

kg⁻¹, respectivamente. Alves et al. (2007) e Teles et al. (2004) encontraram em seus trabalhos valores semelhantes, 1,2 dag kg⁻¹ e 1,19 dag kg⁻¹, respectivamente, e Dubeux Junior et al. (2010), valor superior, 2,0 dag kg⁻¹. Entretanto, Alves et al. (2007) não observaram diferenças ($P < 0,05$) para teor de nitrogênio em tecido de cladódio sob diferentes espaçamentos de plantio.

Pelo descrito anteriormente, seria esperado menor teor de nitrogênio nos tecidos dos cladódios da palma forrageira submetidas a espaçamentos que tornam as plantas mais próximas, e por isso aumentam a competição, como no espaçamento 2,0 x 0,25 m. Contudo, os menores teores de nitrogênio foram constatados no espaçamento nos quais as plantas estão mais distantes, 1,0 x 0,5 m. Isso pode ser justificado pelo fato de que no momento da adubação o esterco bovino foi distribuído ao lado das fileiras de plantio. Desse modo, no espaçamento 1,0 x 0,5 m o esterco foi distribuído em 16 fileiras de plantas e no espaçamento 2,0 x 0,25 m a mesma quantidade de esterco foi colocado em oito fileiras de plantas, fazendo com que no espaçamento 2,0 x 0,25 m a concentração de esterco ao lado da fileira de planta fosse o dobro quando comparado com o esterco colocado ao lado das fileiras do espaçamento 1,0 x 0,5 m; sendo assim, maior concentração de nutrientes no solo, promove uma maior absorção e provável maior acúmulo nos cladódios.

A Figura 13 ilustra a variação dos teores de nitrogênio (dag kg⁻¹), avaliada aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira submetidas à diferentes espaçamentos, em função das doses de esterco bovino. Os teores de nitrogênio cresceram linearmente em resposta às doses de esterco aplicadas, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados. Estima-se um incremento de 16,6% no teor de nitrogênio no tecido de cladódio, ou seja, por volta de 5,5% para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco adicionada ao solo, que corresponde a 130 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio.

Dubeux Junior et al. (2006) também encontraram efeito linear crescente da adubação nitrogenada sobre a concentração de nitrogênio na planta, em plantios instalados em São Bento do Una, Arcoverde e Serra Talhada no estado de Pernambuco. O aumento na concentração de nitrogênio na planta de *Opuntia* com adubação nitrogenada é relatado na literatura (Dubeux Junior et al., 2006; Galizzi et al., 2004; Cortazar et al., 2001).

Cortazar et al. (2001) testaram doses de biofertilizante e registraram recuperação de 43% do nitrogênio aplicado a partir da dose correspondente a 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Estes autores concluíram que o biofertilizante é uma alternativa de adubação com eficiência semelhante aos fertilizantes químicos.

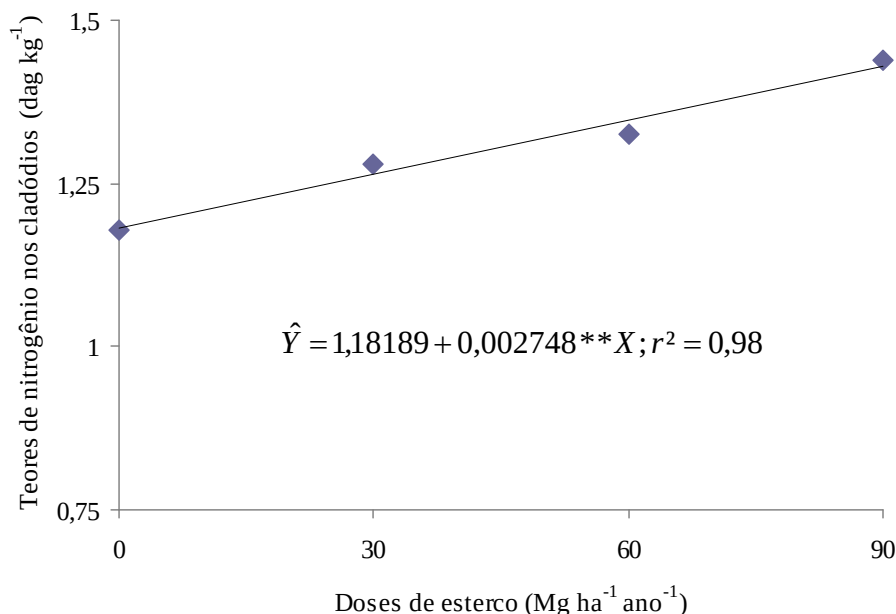


Figura 13. Teores de nitrogênio (dag kg⁻¹) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

Galizzi et al. (2004) trabalhando com palma forrageira na Argentina, encontraram teor médio de nitrogênio nos cladódios da ordem de 1,2 dag kg⁻¹, sem diferença em relação ao controle que foi de 1,1 dag kg⁻¹. Os mesmos autores não encontraram correlação entre o teor de nitrogênio e o rendimento ou com qualquer parâmetro de qualidade de frutas, mas concluíram que o teor de nitrogênio foi importante para manter níveis adequados de proteína nos cladódios e assegurar que a fotossíntese funcionasse de forma otimizada.

Os teores de potássio nos cladódios da palma forrageira diferiram entre os espaçamentos de plantio utilizados (Tabela 5). O maior valor, 4,3 dag kg⁻¹, ocorreu na palma cultivada sob 2,0 x 0,25 m, e o menor, 3,2 dag kg⁻¹, sob 1,0 x 0,5 m.

Alves et al. (2007) também constataram influência dos espaçamentos de plantio na concentração de potássio na palma, com variação direta e crescente

entre espaçamento entre plantas e teor de potássio nos tecidos de cladódios de palma. O teor médio de potássio encontrado por esses autores foi de $0,9 \text{ dag kg}^{-1}$, valor muito inferior aos constatados neste trabalho e aos de outros autores revisados.

O teor médio de potássio nos cladódios de palma forrageira detectados no presente trabalho foi $3,8 \text{ dag kg}^{-1}$, semelhante ao encontrado por Galizzi et al. (2004). Estes autores relacionaram os teores de potássio com os de nitrogênio no cladódio, encontrando forte relação entre eles, em que a concentração de nitrogênio variava de maneira linear com a de potássio em tecido de cladódio de palma. No presente estudo ocorreu semelhança com a relação descrita por Galizzi et al. (2004), pois houve correspondência entre os maiores e menores teores de potássio e de nitrogênio registrados para os mesmos espaçamentos. Resultados similares foram também observados por Teles et al. (2004), que ao adicionarem nitrogênio aos tratamentos, obtiveram aumento do teor de potássio nos tecidos de cladódios.

Teles et al. (2004) e Dubeux Junior et al. (2010) encontraram teor de potássio inferior ao do presente trabalho em palma, com média de $3,3 \text{ dag kg}^{-1}$, e sem diferença entre os tratamentos. Dubeux Junior et al. (2010) concluíram que o teor de potássio foi afetado pelo teor de fósforo e, que quando se aumentou as doses de fósforo no solo (de 0 para 800 kg ha^{-1}) houve uma diminuição no teor de potássio nos tecidos de cladódios (de $5,9$ para $2,5 \text{ dag kg}^{-1}$).

A Figura 14 mostra um aumento linear do teor de potássio, avaliado aos 600 dias após o plantio, nos cladódios de palma forrageira submetida a diferentes espaçamentos, em resposta às doses de esterco aplicadas, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados. O modelo ajustado estima que o teor de potássio de $3,0 \text{ dag kg}^{-1}$, em cladódio não adubado, passou para $4,6 \text{ dag kg}^{-1}$ com dose de $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco, incrementando $1,6 \text{ dag kg}^{-1}$, o que equivale a $0,5 \text{ dag kg}^{-1}$ de potássio para cada $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco aplicado ao solo. Essa dose de esterco corresponde a $187 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de potássio. Com a aplicação de 166 kg ha^{-1} de potássio, Dubeux Junior et al. (2010), encontraram um teor no cladódios de $3,8 \text{ dag kg}^{-1}$ e observaram um incremento nos teores de potássio (de $4,3$ para $5,9 \text{ dag kg}^{-1}$) em relação às doses de potássio aplicadas no solo (de 0 para 664 kg ha^{-1} de K).

O efeito antagônico entre potássio e magnésio (Meurer, 2006) foi observado no presente trabalho. Enquanto a concentração de potássio cresce de forma linear (Figura 30), a de magnésio (Figura 33) decresce de forma linear e/ou quadrática, a depender do espaçamento utilizado, em resposta às doses de esterco aplicadas.

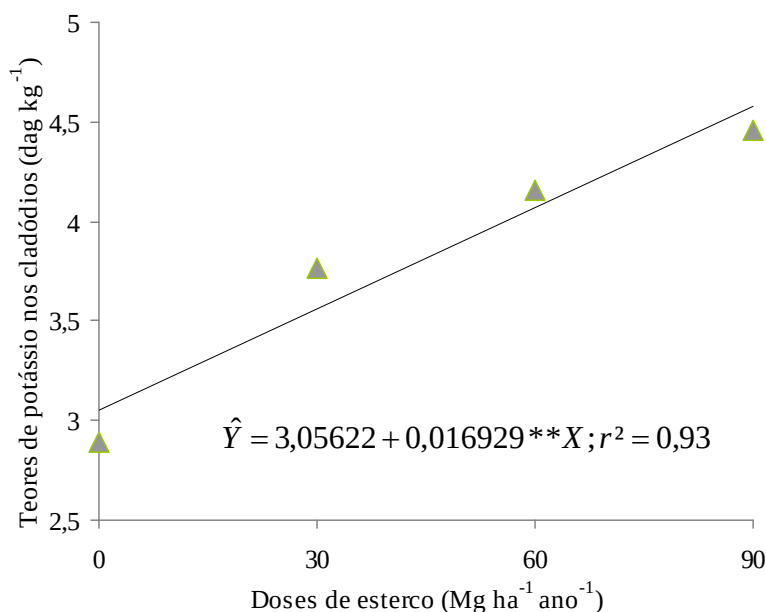


Figura 14. Teores de potássio (dag kg^{-1}) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

As médias dos teores de enxofre em tecidos de cladódios são apresentadas na Tabela 5. A palma forrageira cultivada sob o espaçamento $2,0 \times 0,25$ m exibiu maiores teores de enxofre nos tecidos dos cladódios ($0,19 \text{ dag kg}^{-1}$), que quando cultivadas sob espaçamento $1,0 \times 0,5$ m ($0,16 \text{ dag kg}^{-1}$).

O teor médio de enxofre encontrado foi de $0,17 \text{ dag kg}^{-1}$ e é inferior ao descrito por Dubeux Junior et al. (2010) de $0,61 \text{ dag kg}^{-1}$, sendo semelhantes aos de Teles et al. (2004) e de Galizzi et al. (2004) que foram de $0,17$ e $0,16 \text{ dag kg}^{-1}$, respectivamente. Segundo Vitti et al. (2006) o teor médio capaz de promover um bom crescimento das plantas situa-se entre $0,1$ e $0,5 \text{ dag kg}^{-1}$.

A Figura 15 expressa a variação dos teores de enxofre (dag kg^{-1}), avaliada aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos, em função das doses de esterco bovino.

Os teores de enxofre responderam de forma linear crescente às doses de esterco aplicadas, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados. O modelo ajustado estima que os valores oscilaram de 0,13 dag kg⁻¹, sem adição de esterco até 0,22 dag kg⁻¹, para a dose de 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Teles et al. (2004) observaram elevação no teor de enxofre, atingido uma concentração de 0,22 dag kg⁻¹, ao aplicar uma solução completa de macronutrientes, sem nitrogênio.

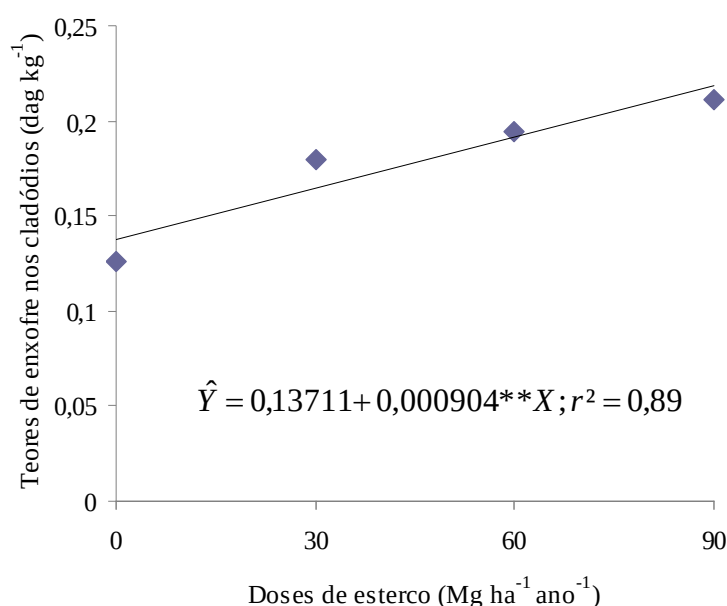


Figura 15. Teores de enxofre (dag kg⁻¹) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

O teor de cálcio médio foi de 3,0 dag kg⁻¹ (Tabela 5). Os espaçamentos de plantio influenciaram ($P < 0,05$) os teores médios de cálcio nos tecidos dos cladódios de palma forrageira, independentemente das doses de esterco aplicadas. O teor de cálcio no cladódio de palma cultivada no espaçamento 1,0 x 0,5 m, 2,8 dag kg⁻¹, foi menor que sob espaçamento 2,0 x 0,25 m, 3,4 dag kg⁻¹. Alves et al. (2007) não encontraram significância para os teores de cálcio em tecidos de cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos.

O teor médio de cálcio detectado no presente trabalho, foi inferior aos encontrados por Dubeux Junior et al. (2010) e Galizzi et al. (2004) que registraram valores de 3,4 dag kg⁻¹ e de 4,6 dag kg⁻¹, respectivamente. Entretanto, superaram

os teores de cálcio descritos por Teles et al. (2004) e Alves et al. (2007) que foram de 1,8 dag kg⁻¹ e 2,6 dag kg⁻¹, respectivamente.

Galizzi et al. (2004) não encontram relação entre o teor de cálcio nos cladódios e o seu teor no solo, mas sim uma relação direta com o pH, pois quanto mais alcalino o solo, maior foi a concentração de cálcio em tecidos de cladódios de palma forrageira.

Os teores de cálcio avaliados aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos responderam de forma quadrática às doses de esterco bovino aplicadas, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados (Figura 16). O modelo ajustado estima que a dose de esterco que implicou em menores teores de cálcio em tecidos de cladódios foi de 57,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, atingindo o teor mínimo de 2,8 dag kg⁻¹.

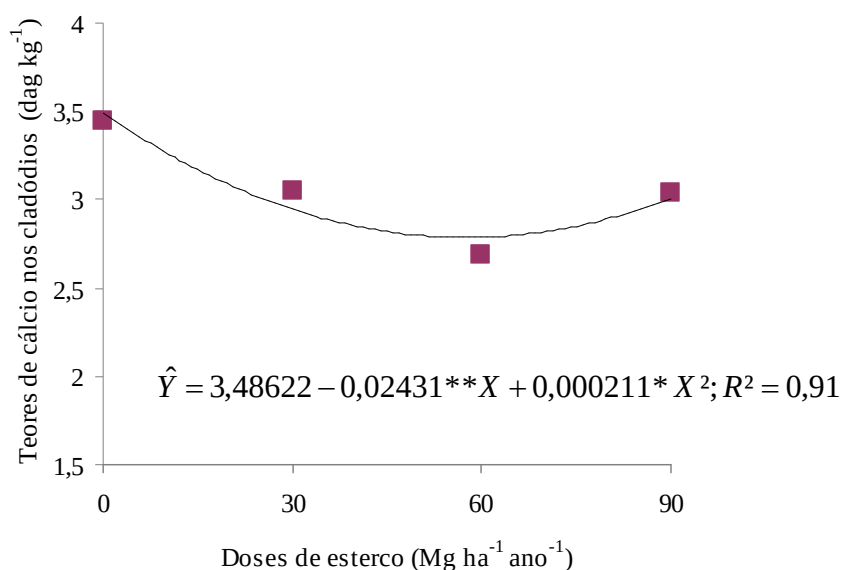


Figura 16. Teores de cálcio (dag kg⁻¹) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

Para a cultivar de palma estudada foram observados uma relação de cálcio e fósforo de (8,4:1). Segundo Andrade et al. (2002) a relação Ca:P que propiciou a melhor absorção desses elementos para vacas de leite foi de 1,9:1.

Teles et al. (2004) encontraram relação de 10,8:1. Segundo estes autores a relação cálcio:fósforo deve ser analisada cuidadosamente quando no

fornecimento de grandes quantidades de palma forrageira para vacas. Santos et al. (2005b) relatam que com uma alta relação Ca:P na palma e com um fornecimento por longo tempo pode afetar negativamente o desempenho animal.

Ocorreram interações ($P < 0,05$), entre espaçamentos de plantio e doses de esterco bovino aplicadas ao solo, para teores de magnésio em cladódios de palma forrageira, avaliados aos 600 dias após o plantio (Tabela 6).

Tabela 6. Médias dos teores de magnésio (dag kg^{-1}), aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Doses de esterco bovino ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)				Média
	0	30	60	90	
1,0 x 0,5	0,9 c	1,0 b	1,2 a	1,0 b	1,0
2,0 x 0,25	1,3 a	1,3 a	1,1 a	1,2 a	1,2
3,0 x 1,0 x 0,25	1,1 b	1,2 a	1,2 a	1,1 b	1,1
Média	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1
CV (%)	7,9				

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

O teor de médio de magnésio constatado no presente trabalho foi de $1,1 \text{ dag kg}^{-1}$. Este valor superou os valores encontrados por Dubeux Junior et al. (2010) e Teles et al. (2004), $0,7 \text{ dag kg}^{-1}$ e $0,6 \text{ dag kg}^{-1}$, respectivamente, e, assemelharam aos descritos por Alves et al. (2007) e Galizzi et al. (2004), $1,1 \text{ dag kg}^{-1}$ e $1,2 \text{ dag kg}^{-1}$, respectivamente. Alves et al. (2007) não encontram significância entre espaçamentos de plantio e teor de magnésio nos tecidos de cladódios de palma forrageira.

A Figura 17 ilustra as regressões ajustadas entre os teores de magnésio (dag kg^{-1}), nos cladódios, avaliados aos 600 dias após o plantio.

Os teores de magnésio comportaram de forma quadrática em função das doses de esterco bovino aplicadas ao solo, para os espaçamentos de $1,0 \times 0,5 \text{ m}$ e de $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$. Para o espaçamento $2,0 \times 0,25 \text{ m}$, não houve ajuste de modelo (Figura 17). Os modelos ajustados estimam que as doses de esterco que proporcionaram os maiores teores de magnésio em cladódios de palma forrageira foram $47,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e $58,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, para o espaçamento $3,0 \times 1,0 \times$

0,25 m em fileira dupla, e em fileira simples, 1,0 x 0,5 m, com os teores, 1,18 dag kg⁻¹ e 1,13 dag kg⁻¹, respectivamente.

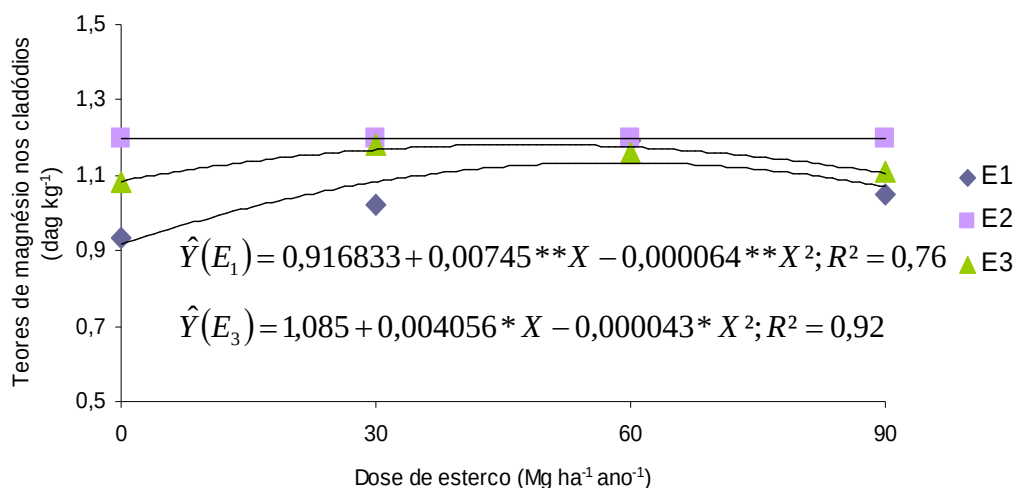


Figura 17. Teores de magnésio (dag kg⁻¹) em cladódios de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos (E₁= 1,0 x 0,5; E₂= 2,0 x 0,25 e E₃= 3,0 x 1,0 x 0,25 m) e doses de esterco bovino

4.1.2. Micronutrientes

Os teores médios de cobre e sódio encontrados em tecidos de cladódios de palma forrageira apresentaram diferença ($P < 0,05$) para espaçamentos de plantio, independentemente das doses de esterco utilizadas (Tabela 7). Os teores de cobre no nos cladódios de palma forrageira cultivada sob espaçamento 2,0 x 0,25 m, foram maiores que sob espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m. Para os teores de sódio, os maiores valores foram registrados nos espaçamentos de 1,0 x 0,5 m e de 2,0 x 0,25 m. Alves et al. (2007) também encontraram efeito significativo dos espaçamentos de plantio em palma forrageira sobre os teores de sódio nos cladódios.

O teor médio de cobre nos cladódios de palma forrageira foi de 3,9 mg kg⁻¹ (Tabela 7), inferior aos valores encontrados por Dubeux Junior et al. (2010) de 6,5 mg kg⁻¹ e superior aos de Galizzi et al. (2004) de 2,9 mg kg⁻¹. O cobre é fortemente adsorvido pela matéria orgânica do solo, interage com os compostos orgânicos, formando complexos tão estáveis com grupos carboxílicos e fenólicos, que a maioria das deficiências de cobre tem sido atribuída a solos orgânicos

(Dechen & Nachtigall, 2006; Abreu et al., 2007). Este fato pode justificar a menor concentração deste micronutriente nos tecidos de cladódios, em relação aos teores registrados por Dubeux Junior et al. (2010), uma vez que a adubação no presente trabalho foi realizada exclusivamente com esterco bovino.

Tabela 7. Médias dos teores de cobre e sódio (mg kg^{-1}), aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Micronutrientes (mg kg^{-1})	
	Cobre	Sódio
1,0 x 0,5	4,0 ab	49,2 a
2,0 x 0,25	4,4 a	49,1 a
3,0 x 1,0 x 0,25	3,3 b	40,0 b
Média	3,9	46,1
CV (%)	25,9	17,8

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

Para o sódio o teor médio foi de $46,1 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 7), superior aos valores constatados por Alves et al. (2007) de $10,2 \text{ mg kg}^{-1}$ e Galizzi et al. (2004) de $38,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

Os teores de zinco avaliados aos 600 dias após o plantio, em tecido de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos responderam de forma quadrática às doses de esterco bovino aplicadas, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados (Figura 18). O modelo ajustado estima que a dose de esterco que proporcionou o menor teor de zinco em tecidos de cladódios, $57,4 \text{ mg kg}^{-1}$, foi $57,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

O zinco normalmente é encontrado nos horizontes superficiais do solo, possuindo baixa mobilidade, sendo fortemente fixado pela matéria orgânica do solo (Dechen & Nachtigall, 2006; Abreu et al., 2007). Este fato colabora para explicar o comportamento quadrático da concentração desse elemento na matéria seca do cladódio de palma forrageira em função da dose de esterco aplicada ao solo. Inicialmente sem aplicação de esterco, o teor de zinco nos cladódios foi elevado, $74,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Provavelmente contribuíram para isso o teor de zinco médio no solo sem aporte de esterco, de $1,41 \text{ mg dm}^{-3}$, teor considerado elevado (Raij et al., 1997) e o pH da ordem de 5,4 o que não diminuiu a solubilidade do

zinco. À medida que aumentou a dose de esterco aplicada ao solo, até a dose de 57,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ o teor de zinco nos cladódios decresceu, voltando a crescer até a dose de 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Possivelmente a habilidade que tem a matéria orgânica de complexar e reter metais, a exemplo do zinco, por um tempo considerável, e liberá-los posteriormente, pela ação de microrganismos para as culturas (Abreu et al., 2007), subsidiam as explicações para os resultados constatados no presente trabalho.

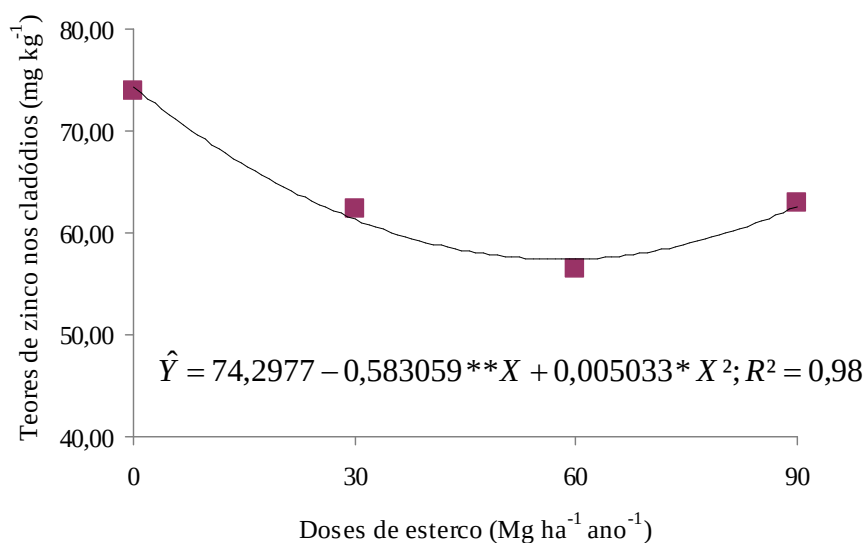


Figura 18. Teores de zinco (mg kg⁻¹) em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

Referente aos micronutrientes boro, ferro e manganês, avaliados aos 600 dias após o plantio, em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino aplicadas ao solo, não foram detectados efeitos de espaçamentos, doses e nem de interação ($P < 0,05$) nesse estudo.

A média do teor de boro foi de 30,3 mg kg⁻¹, bem abaixo do valor citado por Alvarado (2003) em sua revisão, 109 mg kg⁻¹. Em média, para diferentes espécies vegetais, concentrações da ordem de 20 mg kg⁻¹ na matéria seca são consideradas normais para o crescimento das plantas (Epstein & Bloom, 2006).

Em relação ao micronutriente ferro, o teor médio determinado foi de 72,8 mg kg⁻¹. Dubeux Junior et al. (2010) e Galizzi et al. (2004) determinaram valores de 84,5 mg kg⁻¹ e 41 mg kg⁻¹, valores, maior e menor, respectivamente. Segundo

Malavolta (2006), teores de 50 a 100 mg kg⁻¹ são considerados como adequados ao crescimento normal das plantas. Epstein & Bloom (2006) relatam como teor médio adequado de ferro, 100 mg kg⁻¹, em tecido de diferentes espécies vegetais.

O teor médio de manganês determinado foi de 661,8 mg kg⁻¹, superior ao determinado por Galizzi et al. (2004), 124,0 mg kg⁻¹, e o citado por Alvarado (2003) em sua revisão, 54 mg kg⁻¹. Teores de manganês menores que 20 mg kg⁻¹ na matéria seca podem apresentar sintomas de deficiência, enquanto que concentrações maiores que 700 mg kg⁻¹ são consideradas tóxicas (Malavolta, 2006). Concentrações de manganês nos tecidos de plantas têm correlação positiva com o teor de matéria orgânica do solo (Dechen & Nachtigall, 2006), embora não foram encontrados efeitos neste trabalho entre teor de manganês no cladódio de palma forrageira e doses de esterco aplicadas ao solo, quando avaliados aos 600 dias após o plantio.

4.2. Avaliações morfométricas da palma forrageira

Vários autores avaliaram a morfometria da planta de palma forrageira em diferentes situações de adubação e combinações de espaçamentos. Na presente revisão poucos são os trabalhos exclusivamente com adubação orgânica, e, portanto as comparações serão feitas com os dados que mais se aproximam da realidade estudada neste trabalho.

4.2.1. Número de cladódios por planta

Para número de cladódios por planta avaliado aos 600 DAP, em palma forrageira, ocorreu interação ($P < 0,05$) entre espaçamentos de plantio utilizado e doses de esterco bovino aplicadas ao solo. Os resultados são apresentados na Tabela 8 e na Figura 19.

O número médio de cladódios por planta foi de 22,5. A maior média de numero de cladódios, 36,3 foi encontrado no espaçamento 1,0 x 0,5 m, com dose de 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco e a menor no espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m, sem adubação com 12,6. Sem adição de esterco bovino ao solo, o número de cladódios da palma forrageira foi semelhante para os três espaçamentos de

plantio utilizados. Na dose de 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino o número de cladódios foi maior no espaçamento 1,0 x 0,5 m, comparado ao espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m. Nas doses de 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino aplicadas ao solo, o número de cladódios da palma forrageira foi maior no espaçamento 1,0 x 0,5 m em relação ao 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25m.

Tabela 8. Número de cladódios por planta de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				Média
	0	30	60	90	
	Número de cladódios/planta				
1,0 x 0,5	16,2 a	25,3 a	29,2 a	36,3 a	26,7
2,0 x 0,25	16,9 a	20,3 ab	22,1 b	25,2 b	21,1
3,0 x 1,0 x 0,25	12,6 a	18,3 b	22,1 b	26,0 b	19,7
Média	15,2	21,3	24,4	29,1	22,5
CV (%)	11,0				

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

Estudando o comportamento de 50 clones de palma forrageira, Silva et al. (2010) encontraram maior valor para número de cladódios secundários, pois os mesmos são provenientes dos cladódios primários, que por sua vez são originados de um único cladódio, chamado de cladódio mãe. As demais ordens de cladódios apresentaram em menor quantidade.

Dubeux Junior et al. (2006) verificaram influência dos espaçamentos, com redução no número de cladódios por planta, no plantio mais adensado de palma forrageira. Esses resultados são semelhantes aos encontrados no presente trabalho, pois apesar de não haver adensamento de plantas, todas as combinações de espaçamentos continham a mesmas populações, há em função do arranjo, nos espaçamentos 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, uma maior proximidade entre as plantas nas fileiras, o que resulta em maior competição e alterações na fisiologia e morfologia da planta.

Nos espaçamentos 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, a distância entre plantas na linha era de 25 cm, o que corresponde à metade da distância entre plantas do espaçamento 1,0 x 0,5 m. No espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m, a concorrência foi maior ainda, pois as fileiras simples das fileiras duplas se

encontram a uma distância de 1,0 m, e as plantas dentro da fileira a 25 cm uma da outra, o que representa uma combinação de um lado da fileira de $0,25 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, fazendo com que essa planta se comporte como se tivesse sido plantada no espaçamento de $1,0 \times 0,25 \text{ m}$. O número médio de cladódios foi 35,5% maior no $1,0 \times 0,5 \text{ m}$ em relação ao $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$.

Ferreira et al. (2003) trabalhando com avaliação de clones de palma forrageira, encontraram 24 cladódios por planta aos 720 DAP, plantado no espaçamento de $1,0 \times 0,5 \text{ m}$ e fertilizado com adubação química e orgânica. Essa quantidade é inferior a observada no presente trabalho, que foi de 26,7 cladódios para o mesmo espaçamento.

Almeida (2011) encontrou para a cv. Gigante aos 24 meses de idade, no espaçamento de $1,0 \times 0,25 \text{ m}$, sem adubação e com $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco bovino, número médio de 12,5 e 16 cladódios por planta, respectivamente.

Peixoto (2009) encontrou 11,6 cladódios por planta de cv. Gigante, aos 720 DAP, utilizando adubação orgânica de $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e plantio no espaçamento de $1,0 \times 0,5 \text{ m}$, e, 8,9 cladódios por planta, nas mesmas condições, porém sem adubação. Para a mesma dose e espaçamento, no presente trabalho foram encontrados 25,3 cladódios, em avaliação realizada aos 600 DAP, quantidade 118% superior aos resultados de Peixoto (2009).

Dubeux Junior et al. (2006) trabalhando com o cv. Clone IPA-20, plantado nos espaçamentos de $2,0 \times 1,0$ e de $1,0 \times 0,25 \text{ m}$ encontraram 7,3 e 5,2 cladódios por planta no tratamento sem adubação, e 10,3 e 6,1 cladódios por planta, com adubação fosfatada ($33 \text{ kg de P ha}^{-1}$), respectivamente, aos 720 DAP. Os autores concluíram que houve aumento do número de cladódios em função da adubação e decréscimo na quantidade de cladódios com o aumento da população de plantas.

Cortazar et al. (2002) em trabalho realizado no Chile, em condições de pluviosidade média de 330 mm ano^{-1} , encontraram 3,5 cladódios por planta aos 450 DAP, com população de $60.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ e adubação com biofertilizante proveniente de guano e atum, na dose de 60 Mg ha^{-1} . Apesar de não obter diferenças para quantidade de cladódios entre as doses de biofertilizantes aplicadas, 0; 15; 30; 45 e 60 Mg ha^{-1} , foi observado pelos autores um incremento de 13% no número de cladódios por planta.

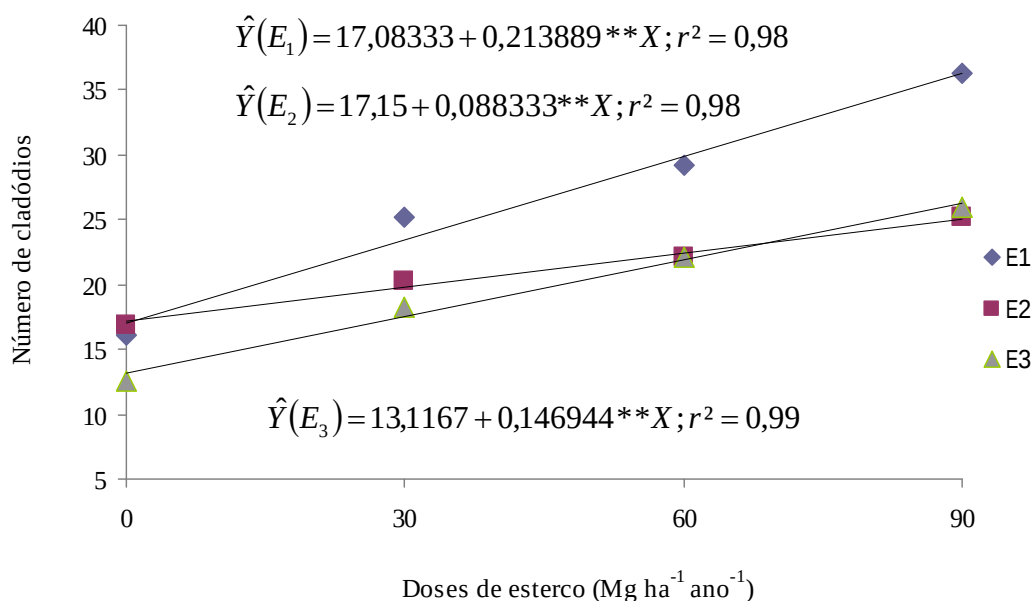


Figura 19. Média do número de cladódios por planta de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos (E₁= 1,0 x 0,5; E₂= 2,0 x 0,25 e E₃ = 3,0 x 1,0 x 0,25 m) e doses de esterco bovino

O número médios de cladódios da palma forrageira variou de maneira linear crescente em função das diferentes doses de esterco bovino aplicadas ao solo, para os diferentes espaçamentos de plantio utilizados, 1,0 x 0,5 m, 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, (Figura 19). Ocorreu interação (P<0,05), entre os espaçamentos de plantio e doses de esterco. O número de cladódios aumenta com o aumento das doses de esterco, sendo esse incremento diferente entre os espaçamentos testados.

4.2.2. Comprimento do cladódio

Para comprimento médio do cladódio avaliado aos 600 DAP, em palma forrageira, não houve diferenças entre os espaçamentos de plantio utilizados, mas houve entre as doses de esterco bovino aplicadas ao solo (P<0,05), Figura 20.

Segundo Silva (2009) o comprimento do cladódio é maior em cladódio primário e decresce em função do aparecimento de outras ordens de cladódios. O comprimento do cladódio é uma característica pouco influenciada pelo manejo, mais dependente do genótipo (Mondragón & Gonzáles, 2001).

Nos estudos de Peixoto (2009), em plantas adubadas com 20 Mg ha⁻¹ de esterco, o comprimento dos cladódios atingiu 29,2 cm, aos 720 DAP. Ferreira et

al. (2003) encontraram para a cv. Gigante valores médios de 33,6 cm para comprimento do cladódio de 1ª, 2ª e 3ª ordem aos 720 DAP, cultivado no espaçamento de 1,0 x 0,5 m. Aos 270 DAP, Teles et al. (2002) encontraram comprimento médio do cladódio de 29,1 cm, em palma cultivada em vasos.

Trabalhando com diferentes espaçamentos de plantio e doses de farinha de osso, Andrade (2009) obteve na média geral do experimento, aos 510 DAP, comprimento de 32,2 cm para a cv. Gigante no semiárido Paraibano.

O comprimento dos cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos apresentou comportamento linear positivo em resposta às diferentes doses de esterco aplicadas no solo (Figura 20). O modelo ajustado estima que a maior dose de esterco bovino promoveu um incremento de cerca de 8% no comprimento do cladódio em relação à testemunha. Os valores de comprimento do cladódio estão de acordo com a maioria das mensurações encontradas em trabalhos realizados por outros autores (Peixoto, 2009; Ferreira et al., 2003a; Teles et al., 2002; Andrade, 2009).

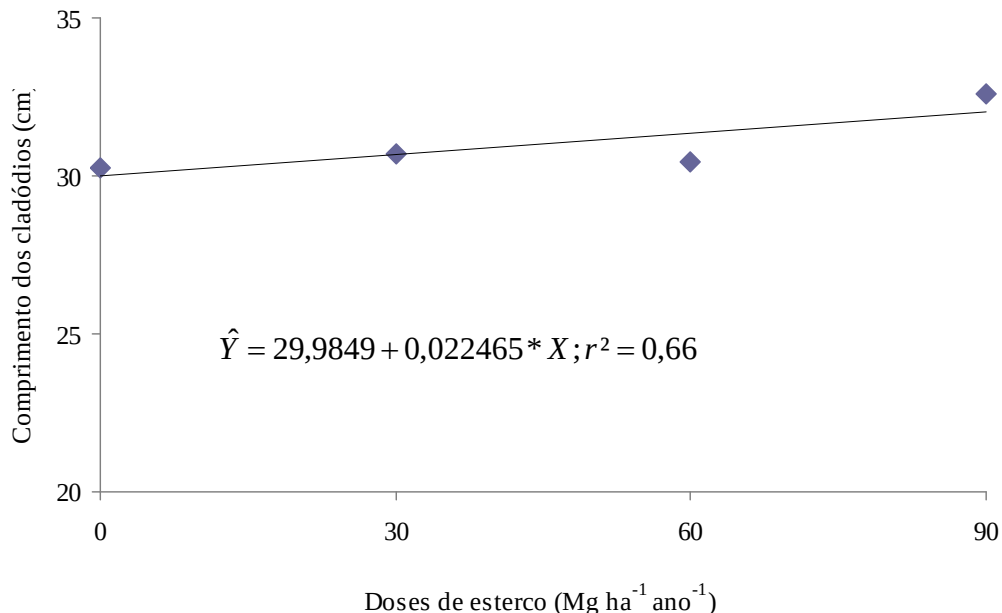


Figura 20. Comprimento médio dos cladódios de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de doses de esterco bovino

Apesar de ajustar uma equação de regressão linear para o comprimento médio dos cladódios em função das doses de esterco aplicadas ao solo, o coeficiente de determinação foi de média magnitude, $r^2 = 0,66$. Isto fica evidente

quando comparamos os coeficiente de determinação estimados para os modelos de regressão ajustados para as demais características morfométricas avaliadas, 0,99 para peso de massa verde, 0,98 para peso de matéria seca, 0,97 para altura da planta, 0,98 a 0,99 para número de cladódios por planta. Esse resultado confirma o argumento de Mondragón & Gonzáles (2001), que o comprimento do cladódio é uma característica pouco influenciada pelo manejo, mais dependente do genótipo.

4.2.3. Largura do cladódio

A Largura dos cladódios avaliada aos 600 DAP, em palma forrageira não diferiu estatisticamente a 5% de probabilidade, entre espaçamentos de plantio utilizados, entre doses de esterco aplicadas ao solo, nem teve efeito de interação entre os fatores estudados.

Aos 600 DAP, a largura média dos cladódios foi 16,3 cm. A largura dos cladódios se manteve praticamente constante, independentemente das diferentes doses de esterco de bovino adicionadas ao solo e do espaçamento utilizado para plantio. A ausência de diferenças entre os tratamentos testados, para a largura dos cladódios evidencia a pouca influência ambiental e de manejo sobre esta característica, pois como afirmam Mondragón & Gonzáles (2001), o tamanho dos cladódios é uma característica genética, sendo em menor escala determinada pela posição de plantio e fertilidade do solo.

A média geral da largura do cladódio, de 16,3 cm está de acordo com dados encontrados por outros autores que trabalharam com a cultura determinando as suas características morfométricas.

Sales et al. (2003) comentam que, além da genética da planta, as oscilações climáticas exercem influência na largura e comprimento dos cladódios, afetando desse modo, a produção.

Andrade (2009) determinou aos 510 DAP, a largura média dos cladódios e encontrou 17,4 cm para a cv. Gigante adubada com doses de fósforo de 25; 34; 42 e 50 kg ha⁻¹ de P e 40 Mg ha⁻¹ esterco bovino. Ferreira et al. (2003) para a mesma cultivar obteve 18,3 cm, aos 720 DAP, utilizando adubação orgânica e química conforme análise de solo. Em casa de vegetação, Teles et al. (2002) encontraram valor da ordem de 11,8 cm, aos 270 DAP. Nascimento (2008), aos

330 DAP, obteve uma largura média dos cladódios de 15,6 cm em condições de campo, com adubação fosfatada e orgânica. Pinto et al. (2002) encontraram uma largura média dos cladódios de 16 cm e Peixoto (2009) de 14,1 e 11,8 cm para a cv. Gigante adubada com esterco na dose de 20 Mg ha⁻¹ e sem adubação, respectivamente, aos 720 DAP.

4.2.4. Espessura do cladódio

Ocorreu interação ($P < 0,05$), entre os espaçamentos de plantio utilizados e doses de esterco bovino aplicadas ao solo, para a espessura dos cladódios de palma forrageira, avaliada aos 600 DAP (Tabela 9 e Figura 21).

A espessura média dos cladódios encontrada foi de 1,6 cm. A maior espessura de cladódio de palma forrageira, em valor absoluto foi registrada no espaçamento 2,0 x 0,25 m, 2,0 cm, sem adubação com esterco.

Tabela 9. Espessura dos cladódios (cm) de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				Média
	0	30	60	90	
	Espessura de cladódios (cm)				
1,0 x 0,5	1,2 b	1,6 a	1,4 a	1,9 a	1,5
2,0 x 0,25	2,0 a	1,6 a	1,4 a	1,6 a	1,7
3,0 x 1,0 x 0,25	1,9 a	1,6 a	1,4 a	1,6 a	1,6
Média	1,7	1,6	1,4	1,7	1,6
CV (%)	14,6				

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

Sem adição de esterco bovino ao solo, a espessura dos cladódios da palma forrageira foi menor no espaçamento 1,0 x 0,5 m. Nas doses de 30, 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino aplicadas ao solo, a espessura dos cladódios foi semelhante para os três espaçamentos de plantio utilizados.

Pinto et al. (2002) mensuraram cerca de 237 cladódios provenientes de 17 plantas e obtiveram a espessura média de 2,5 cm. Segundo Silva (2009) as maiores medidas de espessura ocorreram para os cladódios primários (3,9 cm; 1,8 cm e 1,2 cm, para os 1^a; 2^a e 3^a ordem), reduzindo-se com a emissão de novas ordens de cladódios. Os maiores valores obtidos nos cladódios primários

são resultantes da idade dos mesmos, já que os cladódios primários são mais velhos e apresentam a função de sustentação dos demais cladódios, flores e frutos, bem como o transporte de nutrientes e substâncias orgânicas necessárias para a subsistência da planta.

Aos 510 DAP Andrade (2009) encontrou espessura média de 2,7 cm; Nascimento (2008) de 0,5 cm, aos 330 DAP; Teles et al. (2002) de 1,1 cm, aos 270 DAP, em casa de vegetação; e, Peixoto (2009) de 1,1 cm trabalhando com adubação de 20 Mg ha⁻¹ de esterco e 0,7 cm sem adubação.

Ocorreu interação (P<0,05), entre os espaçamentos de plantio e doses de esterco (Figura 21). A espessura média dos cladódios de palma forrageira variou em função das diferentes doses de esterco bovino aplicadas ao solo, de forma linear crescente, para o espaçamento de plantio 1,0 x 0,5 m, e, de forma quadrática para os espaçamentos 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m.

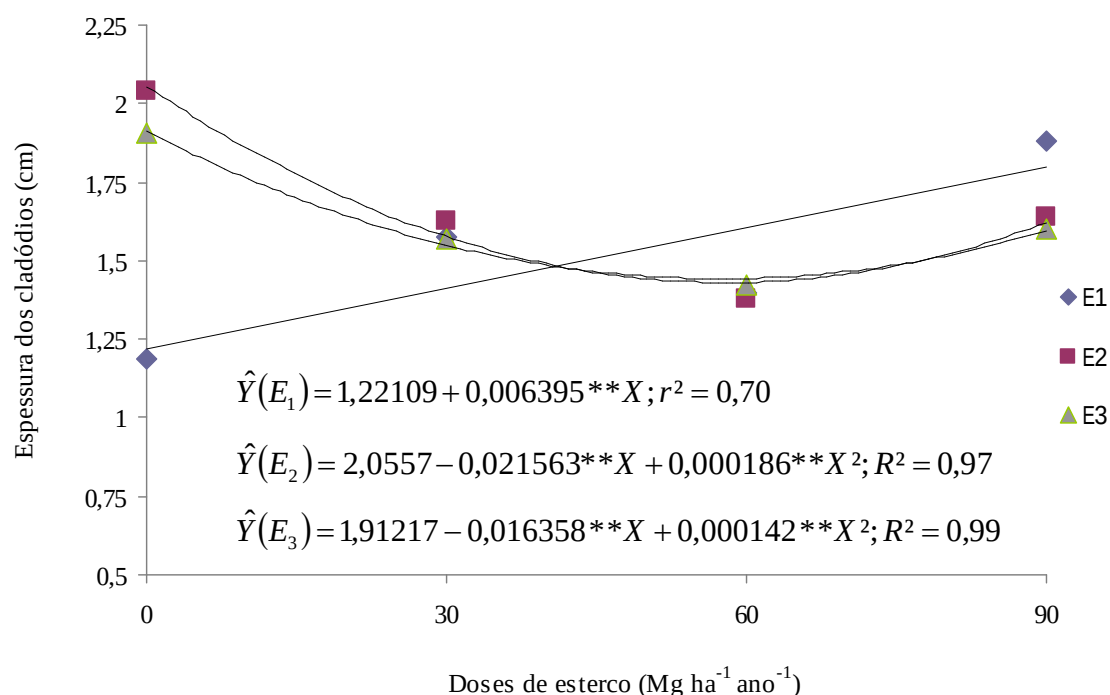


Figura 21. Espessura média dos cladódios de palma forrageira aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos (E₁= 1,0 x 0,5; E₂= 2,0 x 0,25 e E₃= 3,0 x 1,0 x 0,25 m) e doses de esterco bovino

Para o espaçamento 1,0 x 0,5 m, a espessura dos cladódios aumenta com o aumento das doses de esterco. O modelo ajustado estima que a menor espessura dos cladódios foi de 1,4 cm, correspondente às doses de 52,5 e 58 Mg

ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino aplicadas ao solo, para os espaçamentos 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, respectivamente (Figura 21). Nos espaçamentos onde as plantas estavam mais próximas, dentro da linha de plantio, 2,0 x 0,25 m e 3,0 X 1,0 x 0,25 m, com 25 cm entre elas, houve decréscimo das espessuras médias dos cladódios, para as doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, voltando a elevar com o aumento da dose.

4.2.5. Área do cladódio

A área dos cladódios avaliada aos 600 DAP, em palma forrageira não diferiu a 5% de probabilidade, entre espaçamentos de plantio utilizados, entre doses de esterco aplicadas ao solo, nem teve efeito de interação entre os fatores estudados.

A área do cladódio foi estimada pela equação obtida por Pinto et al. (2002) e é dependente do comprimento, da largura e do formato do cladódio.

A área média dos cladódios foi de 350,0 cm², aos 600 DAP. Os cladódios atingiram maior área média em plantas adubadas com 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (393,3 cm²) e plantadas no espaçamento 2,0 x 0,25 m.

A área do cladódio é uma importante variável, pois se pode estimar o índice de área do cladódio (IAC), que é a relação entre a área foliar da planta e a área de solo ocupada pela mesma (m² m⁻²).

A área do cladódio é dependente de suas dimensões, largura, comprimento e formato, medidas essas que são mais determinadas pelo genótipo, sofrendo pouca interferência do ambiente e do manejo dispensado à cultura (Mondragón & Gonzáles, 2001). Isto justifica a não ocorrência de diferenças entre os tratamentos testados.

Segundo Viana et al. (2008) a área média dos cladódios da cv. Gigante, cultivada no espaçamento de 1,0 x 0,5 m, avaliada aos 1000 DAP, foi de 284,7 cm², com adubação orgânica utilizando esterco caprino na dose de 20 Mg ha⁻¹ e 230,1 cm², sem adubação. Os autores concluíram que a área do cladódio aumenta em função do aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, proveniente da adubação. A área dos cladódios aos 330 DAP determinada por Oliveira Junior et al. (2009) para a palma forrageira cultivar Italiana, plantada no espaçamento de 1,0 x 0,5 m, foi de 379 cm². Teles et al. (2002) encontraram

valores da ordem de 811,1 cm² para área dos cladódios em palma forrageira cv. Gigante cultivada em vasos, com espaçamento 1,0 x 0,25 m, aos 270 DAP, o qual difere muito do valor encontrado no presente trabalho, 350,0 cm², e dos demais trabalhos revisados.

4.2.6. Índice de área do cladódio

O índice de área de cladódio (IAC) avaliado aos 600 DAP, em palma forrageira foi dependente da interação entre espaçamento de plantio utilizado e doses de esterco bovino aplicadas ao solo ($P < 0,05$). Os resultados são apresentados na Tabela 10 e na Figura 22.

O IAC é fundamental na determinação da área fotossinteticamente ativa da planta, pois indica a capacidade da planta em interceptar a luz solar, para eficientemente transformá-la em produção de matéria seca.

A média de IAC encontrada foi de 3,1. A palma forrageira cultivada sob espaçamento de plantio 1,0 x 0,5 m, apresentou menor e maior IAC, 1,9 e 5,1, em valor absoluto.

Tabela 10. Médias de índice de área dos cladódios (IAC) em palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				Média
	0	30	60	90	
	IAC				
1,0 x 0,5	1,9 a	3,5 a	4,0 a	5,1 a	3,6
2,0 x 0,25	2,4 a	2,8 ab	2,8 b	4,0 b	3,0
3,0 x 1,0 x 0,25	1,9 a	2,5 b	2,9 b	3,8 b	2,8
Média	2,0	2,9	3,2	4,3	3,1
CV (%)	13,7				

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

Sem adição de esterco bovino ao solo, o IAC da palma forrageira foi semelhante para os três espaçamentos de plantio utilizados. Na dose de 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino aplicada ao solo, o IAC da palma forrageira foi diferente entre os espaçamentos 1,0 x 0,5 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m. Nas doses de 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, o IAC foi maior sob o espaçamento 1,0 x 0,5 m, comparado aos espaçamentos de plantio 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m.

Segundo Nobel (2001) IAC da ordem de 4 a 5 indicam alto potencial de produção de matéria seca por área. Cortazar et al. (2001) encontraram IAC da ordem de 4,7 a 7,4 para áreas sem e com aplicação de biofertilizante (60 Mg ha⁻¹) proveniente de guano e atum, atingindo produção de matéria seca de 18,0 e 19,9 Mg ha⁻¹, respectivamente; esses autores não encontraram significância para IAC em relação às doses de biofertilizantes aplicadas, o que difere dos dados aqui descritos.

Entretanto, diferenças entre doses de adubação e espaçamentos para IAC, como registradas no presente trabalho, são esperadas. O IAC, refere-se a área total de cladódios em relação a área ocupada pela planta no terreno. A área total de cladódios considera a área do cladódio e o número de cladódio por planta. O número de cladódio por planta foi dependente dos espaçamentos de plantio utilizados e das doses de esterco bovino aplicadas. O crescimento, a área foliar e a produção de qualquer espécie vegetal são influenciados pelas doses de nitrogênio e fósforo aplicadas e pela interação entre esses nutrientes (Marschner, 1995; Araújo & Machado, 2006). Como relatam Araújo & Machado (2006) pela importância nas reações fotossintéticas e no metabolismo do carbono, processos estes fundamentais para a assimilação do nitrogênio, este e o fósforo interagem de forma sinérgica, em que ambos os nutrientes, em doses adequadas, promovem aumentos na produção vegetal maiores que aqueles obtidos com aplicações de cada nutriente isoladamente. Neste trabalho, os teores de nitrogênio e de fósforo nos cladódios de palma forrageira cresceram linearmente em resposta às doses de esterco aplicadas, consequência do aporte conjunto correspondente à 130, 260 e 390 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio e 117, 234 e 351 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fósforo.

Dubeux Junior et al. (2006) encontraram efeito para população de plantas e IAC, quando estudaram densidades de 5.000 e 40.000 plantas ha⁻¹, concluindo que quanto maior população maior o IAC. Nesse mesmo trabalho os autores também encontraram efeito para dose de fósforo e IAC, quando estudaram a população de 40.000 plantas ha⁻¹, verificando que com a adubação fosfatada houve incremento do IAC.

Almeida (2011) encontrou IAC da ordem de 4,1 trabalhando com 40.000 plantas ha⁻¹, adubadas com adubo orgânico e químico aos 900 DAP.

Alves et al. (2007) verificaram que ao se conservar os cladódios secundários na época da colheita, maior produção de matéria seca foi obtida. Com uma população de 5.000 plantas a produção foi de 6,2 Mg ha⁻¹, preservando cladódios primários, e 13,3 Mg ha⁻¹, preservando cladódios secundários. Isto, segundo esses autores, deveu-se a um maior IAC remanescente após a colheita, o que possibilitou às plantas maior eficiência fotossintética.

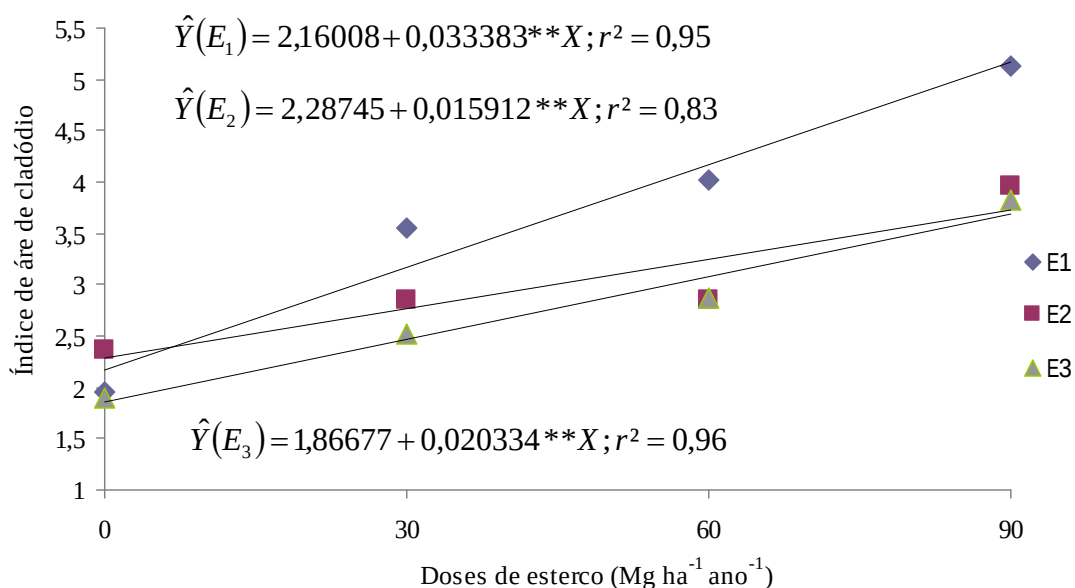


Figura 22. Média do índice da área de cladódio de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos (E₁= 1,0 x 0,5; E₂= 2,0 x 0,25 e E₃= 3,0 x 1,0 x 0,25 m) e doses de esterco bovino

O IAC médio da palma forrageira variou de maneira linear crescente em função das diferentes doses de esterco bovino aplicadas ao solo, para os diferentes espaçamentos de plantio utilizados, 1,0 x 0,5 m, 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m (Figura 22). Ocorreu interação (P<0,05), entre os espaçamentos de plantio e doses de esterco. O IAC aumentou com o aumento das doses de esterco, sendo esse incremento diferente entre os espaçamentos testados.

O modelo ajustado estima que o IAC teve comportamento linear crescente para o espaçamento 1,0 x 0,5 m, possibilitando o incremento de IAC de 1,0 para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco adicionado ao solo, passando de um IAC de 2,2 para 5,2 quando não foi adicionado e com 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, respectivamente.

Já nos espaçamento 2,0 x 0,25 m, o modelo ajustado estima um incremento de IAC de 0,47 para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco aplicado; passando de um IAC de 2,3 para 3,7 quando não foi adicionado e com 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, respectivamente, caracterizando um aumento de IAC bem inferior ao encontrado para o espaçamento de 1,0 x 0,5 m.

Para o espaçamento em fileira dupla de 3,0 x 1,0 x 0,25 m, o comportamento se apresentou de forma linear ascendente com uma inclinação de reta inferior ao espaçamento 1,0 x 0,5 m e superior ao 2,0 x 0,25 m; o modelo ajustado estima uma incorporação de IAC de 0,61 para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco adicionado ao solo, passando de um IAC de 1,9 para 3,7 quando não foi adicionado e com 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, respectivamente.

O crescimento da palma forrageira inicialmente é relativamente lento, pois se trata de uma planta que é multiplicada por partes vegetativas. O seu desenvolvimento inicial é realizado em função das reservas existentes no cladódio semente.

Diversos autores ao avaliarem o crescimento da palma forrageira descreveram esse lento desenvolvimento inicial, mostrando a evolução do número de cladódios na planta por ordem, primário e secundário respectivamente: 3,8 e 4,3 (Oliveira Junior et al., 2009); 2,8 e 6,8 (Silva, 2010); 3,9 e 10,1 (Ferreira et al., 2003a). Um menor número de cladódios no início leva a uma menor área de cladódios, e, conseqüentemente, a um IAC menor, passando a melhorar esse índice a partir da incorporação de novos cladódios, aumentando assim a área fotossinteticamente ativa da planta.

Em todos os espaçamentos houve aumento do IAC com a adição de esterco, sendo esse incremento de forma diferente em cada um deles. O espaçamento 1,0 x 0,5 m foi o que apresentou maior IAC e comparativamente, o de maior produção de matéria verde e matéria seca.

4.2.7. Altura da planta

Foi observado diferença ($P < 0,05$) para altura da planta de palma forrageira, entre espaçamentos de plantio utilizados e doses de esterco bovino (Tabela 11).

A média para altura da planta foi de 115,8 cm. A palma forrageira cultivada sob espaçamento 1,0 x 0,5 m apresentou maior altura média, 121,9 cm,

comparada ao espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m, 110,3 cm. Isto ocorreu devido ao arranjo das plantas nos tratamentos. As plantas foram mais altas quando a disposição das mesmas foi mais uniforme na superfície do solo, caso do espaçamento 1,0 x 0,5 m, em que as plantas se encontram equidistantes, em detrimento do arranjo em fileiras duplas em que apesar da área por planta ser a mesma, as plantas se encontram mais próximas. Isto pode aumentar a competição por luz, e, conseqüentemente, o estiolamento das plantas. Em sua revisão, Silva (2009), cita que em trabalho sobre densidade de plantio, quanto maior a densidade de plantas, maior a altura final da mesma, por haver redução do alongamento lateral do caule devido à competição entre plantas.

Tabela 11. Médias de altura da planta, produção de massa verde (PMV) e produção de matéria seca (PMS), aos 600 dias após plantio, em palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Altura da planta (cm)	PMV (Mg ha ⁻¹)	PMS (Mg ha ⁻¹)
1,0 x 0,5	121,9 a	223,0 a	21,5 a
2,0 x 0,25	115,3 ab	202,4 a	18,6 a
3,0 x 1,0 x 0,25	110,3 b	152,0 b	14,7 b
Média	115,8	192,5	18,2
CV (%)	7,9	18,0	18,1

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

No presente trabalho a população de plantas foi mantida, variando apenas a distribuição da mesma dentro da área. O arranjo espacial pode ter influenciado o crescimento das plantas, facilitando um maior alongamento lateral para espaçamentos onde a distância entre linhas era maior com menor distância entre plantas dentro da linha. Silva et al. (2010) em sua revisão citam que o arranjo das plantas pode ser modificado pela variação na população de plantas e pelo espaçamento entre linhas, alterando a área e a forma da área disponível para cada planta.

A maior altura média da palma forrageira, em valor absoluto, 121,9 cm, ocorreu no espaçamento 1,0 x 0,5 m, sendo de 8,3% mais alta que as plantas do espaçamento 2,0 x 0,25 m e 10,5% superior ao espaçamento em fileira dupla 3,0

x 1,0 x 0,25 m. Esses dados estão de acordo com os de Silva et al. (2010), que avaliando 50 clones de palma forrageira aos 720 DAP encontraram valores de altura de planta variando de 45,2 a 127,3 cm com média de 90,1 cm; trabalhando com densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ e espaçamento de 1,0 x 0,5 m, em que as mesmas foram adubadas com adubo orgânico e químico segundo análise de solo.

Ferreira et al. (2003) encontraram plantas com 103,5 cm de altura no espaçamento de 1,0 x 0,5 m, com adubação química e orgânica, para a cv. Gigante. Oliveira Junior (2009) avaliando aos 330 DAP, palma cv. Italiana plantada no espaçamento de 1,0 x 0,5 m e adubada com 15 Mg ha⁻¹ de esterco de caprino constaram altura da planta de 72,5 cm.

Para a altura média da planta de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos de plantio, ajustou-se um modelo de regressão linear crescente em função das doses de esterco bovino aplicadas no solo (Figura 23).

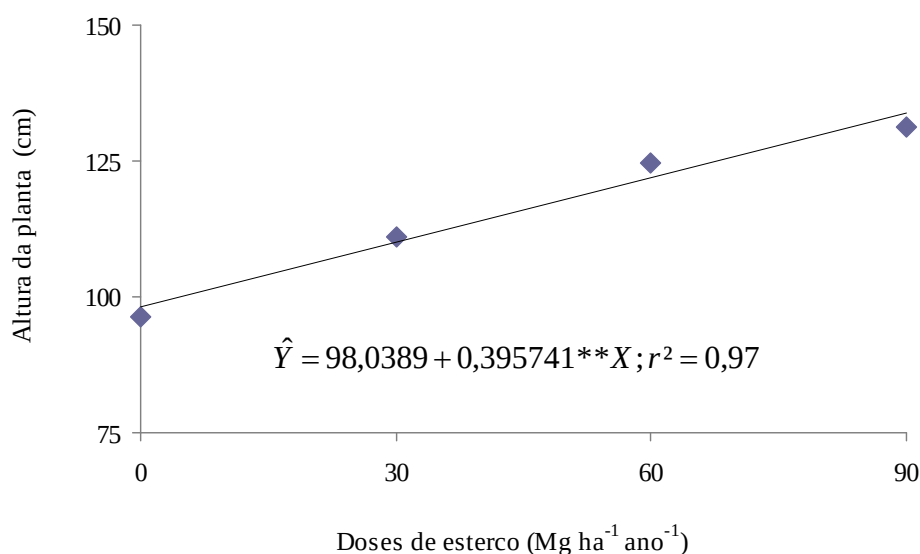


Figura 23. Altura média da planta de palma forrageira avaliada aos 600 dias após plantio em função de doses de esterco bovino

Os dados confirmam a relação entre altura de planta e produção de matéria seca pela palma forrageira. Com altura média de 121,9 cm no espaçamento 1,0 x 0,5 m, a produção de matéria seca atingiu 21,5 Mg ha⁻¹ e à menor altura de planta no espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m, de 110,3 cm, a produção de matéria seca foi de 14,7 Mg ha⁻¹.

4.2.8. Produção de massa verde

Os resultados referentes à produção de massa verde (PMV) de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de adubo orgânico encontram-se na Tabela 11.

A produção de massa verde encontrada na maioria dos trabalhos foi estimada em função de equações (Nascimento, 2008; Andrade, 2009; Almeida, 2011).

A produção de massa verde diferiu entre espaçamentos de plantio e doses de esterco bovino ($P < 0,05$), de forma independente. Não ocorreu interação entre os fatores estudados para essa variável.

A produção média estimada de massa verde foi de $192,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo a menor produção registrada no espaçamento $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$, de 152 Mg ha^{-1} . Ocorreu um incremento de produção da ordem de 46% quando se compara o espaçamento em fileira dupla $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$ e o espaçamento em fileira simples $1,0 \times 0,5 \text{ m}$, cuja produção de massa verde atingiu 223 Mg ha^{-1} . Esse fato ocorreu provavelmente pela maior concorrência por nutrientes no espaçamento $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$, onde as plantas se encontram mais próximas dentro da linha de plantio, provavelmente por uma maior demanda por nutrientes, além da insuficiência de suprimento por parte do esterco adicionado.

Almeida (2011) trabalhando com palma, na densidade de plantio de 40.000 plantas ha^{-1} , aos 720 dias após o plantio, estimou uma produção de massa verde de 489 Mg ha^{-1} para a área não adubada e de 625 Mg ha^{-1} para a área adubada com 30 Mg ha^{-1} de esterco. Nascimento (2008) estimou em $53,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ a produção de massa verde da cv. Gigante adubada com esterco bovino, 30 Mg ha^{-1} e fósforo, 84 kg ha^{-1} de P, com população de 23.820 plantas ha^{-1} , aos 330 DAP. Peixoto (2009) descreveu uma produção de massa verde da ordem de $41,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $30,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ para áreas adubadas com 20 Mg ha^{-1} de esterco e não adubadas, respectivamente, ambas com população de 20.000 plantas ha^{-1} . Andrade (2009) estimou produção de massa verde da ordem de $211,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ aos 510 DAP, da cv. Gigante adubada com esterco bovino, 40 Mg ha^{-1} , e fósforo, 42 kg ha^{-1} P, com população de 23.820 plantas ha^{-1} . Araujo (2009) trabalhando com a cv. Gigante e adubação química e orgânica, 30 Mg ha^{-1} de esterco bovino e fósforo na dose de 21 kg ha^{-1} de P, atingiu aos 600 DAP, com população de

23.529 plantas ha⁻¹, a produção de 170 Mg ha⁻¹. Ferreira (2003) avaliando diversos clones de palma forrageira plantado no espaçamento de 1,0 x 0,5 m, encontrou para a cv. Gigante a produção de 342,8 Mg ha⁻¹ de massa verde aos 720 DAP.

O decréscimo na produção de massa verde no espaçamento de fileira dupla, provavelmente pode ser explicado pelo processo de distribuição do esterco na área no momento da adubação. Como o esterco foi colocado próximo a linha de plantio, no espaçamento em fileira dupla houve uma maior concentração de esterco entre as fileiras simples, o que pode ter provocado alguma fitotoxidez nas raízes, influenciando de forma negativa o crescimento e, consequentemente, a produção nesse tratamento.

Na Figura 24 pode-se verificar a produção média de massa verde, avaliada aos 600 dias após o plantio em função de doses de esterco bovino aplicadas ao solo.

A produção média de massa verde apresentou um comportamento quadrático em resposta às diferentes doses de esterco (Figura 24). O modelo ajustado estima que a máxima produção de massa verde, 229,9 Mg ha⁻¹, foi obtida com a dose de 87,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco.

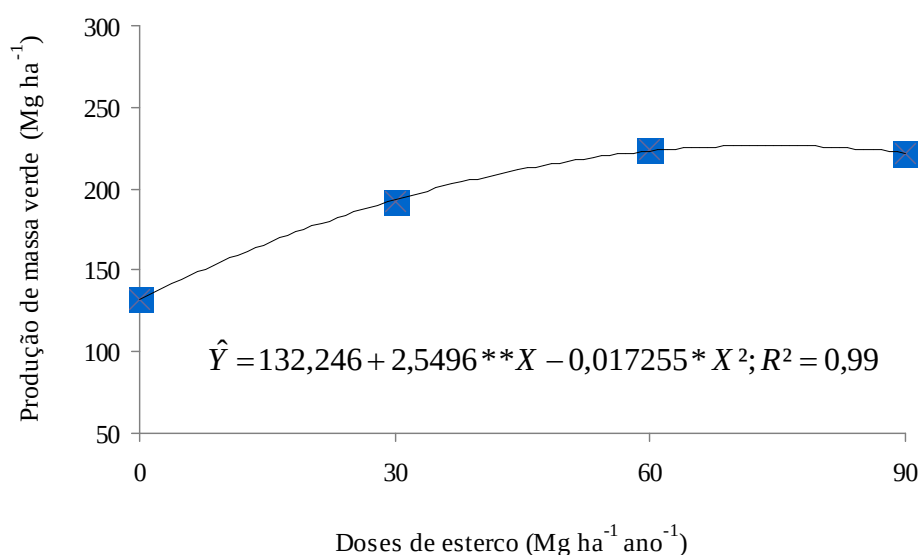


Figura 24. Produção média de massa verde, aos 600 dias após plantio, em palma forrageira em função de doses de esterco bovino

Segundo Almeida (2011) a adubação com esterco na dose de 30 Mg ha⁻¹ não surtiu efeito quando comparada ao tratamento sem adubação (testemunha). O autor justifica que a quantidade adicionada de esterco, possivelmente não atendia à demanda de nutrientes necessária para o pleno desenvolvimento da planta, aliado à baixa capacidade de troca catiônica do solo utilizado no experimento. Isso contradiz com os resultados encontrados no presente trabalho, pois o esterco aplicado na menor dose, 30 Mg ha⁻¹, incrementou a produção de massa verde de 46% em relação ao tratamento sem adubação, passando de 132,2 Mg ha⁻¹ para 193 Mg ha⁻¹ de massa verde.

4.2.9. Produção de matéria seca

A produção média de matéria seca (PMS) de palma forrageira diferiu ($P < 0,05$) entre espaçamentos de plantio utilizados (Tabela 11) e entre doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 25), de forma independente, sem ocorrência de interação entre os fatores estudados.

A produção média de matéria seca de palma forrageira foi 18,2 Mg ha⁻¹. As produções de matéria seca registradas nos espaçamentos em fileira simples foram similares ($P < 0,05$), 21,5 Mg ha⁻¹ e 18,6 Mg ha⁻¹, para 1,0 x 0,5 m e 2,0 x 0,25 m, respectivamente, e superiores à produção obtida sob espaçamento em fileira dupla, 3,0 x 1,0 x 0,25 m, 14,7 Mg ha⁻¹. Dubeux Junior et al. (2006) obtiveram produção de matéria seca média de 23,8 Mg ha⁻¹ para palma forrageira clone IPA-20, com população de 40.000 plantas ha⁻¹, em quatro localidades no Estado de Pernambuco (Arcoverde, São Bento do Una, Serra Talhada e Sertânia). Os valores médios de matéria seca encontrados por esses autores são superiores aos registrados no presente trabalho, 18,2 Mg ha⁻¹, porém, o clone IPA-20 é considerado mais produtivo, aliado a maior população de plantas utilizada. Ainda Dubeux Junior et al. (2006), encontraram significância para doses de fósforo em relação à produção de matéria seca, com 11,5 e 23,8 Mg ha⁻¹ para 0 e 33 kg ha⁻¹ de fósforo, respectivamente, considerando produção avaliada aos 720 DAP.

Cortazar et al. (2002) encontraram 19,9 Mg ha⁻¹ de matéria seca aos 450 DAP, com população de 60.000 plantas ha⁻¹ e adubação com biofertilizante proveniente de guano e atum, na dose de 60 Mg ha⁻¹. Os autores utilizaram população de plantas três vezes maior e efetuaram a colheita de todos os

cladódios, preservando apenas o cladódio mãe, e obtiveram produção de matéria seca equivalente à encontrada no presente trabalho, que foi de 18,1 Mg ha⁻¹. Cortazar et al. (2002) não encontraram diferença para a produção de matéria seca em função das doses de biofertilizante utilizadas, provavelmente devido ao baixo índice pluviométrico (330 mm), que teve como consequência, a baixa mineralização da matéria orgânica adicionada resultando em um baixo teor de nutrientes disponíveis para a planta.

Alves et al. (2007) não encontraram efeito de espaçamentos para produção de matéria seca para a cultivar Gigante, quando na colheita os cladódios primários foram preservados, provavelmente pela baixa quantidade de plantas ha⁻¹ (máximo de 10.000); a produção média descrita foi de 5,6 Mg ha⁻¹, as populações utilizadas foram 5.000 e 10.000 plantas ha⁻¹, sendo a adubação bianual com 20 Mg ha⁻¹ de esterco; os valores de produção são bastante inferiores ao obtido no presente trabalho.

A produção média de matéria seca avaliada aos 600 DAP, em palma forrageira, cultivada sob diferentes espaçamentos, variou de forma quadrática em função das doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 25).

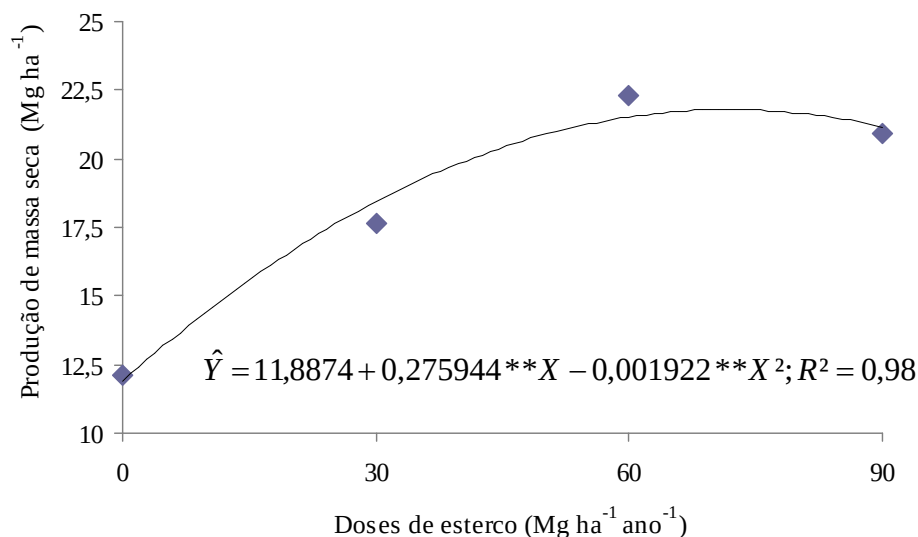


Figura 25. Produção média de matéria seca de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, em função de doses de esterco bovino

O modelo ajustado estima que a máxima produção de matéria seca, 21,8 Mg ha⁻¹, é esperada quando se aplica 71,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco. Elevadas

doses de nitrogênio proveniente da adubação orgânica, da ordem de 130 à 390 kg ha⁻¹, podem ter levado a esse comportamento. O nitrogênio promove alterações na morfologia das plantas e em condições de alto suprimento deste nutriente, ocorrem maior crescimento e aumento na área foliar (Marschner, 1995), o que pode significar menor teor de matéria seca nos tecidos de cladódios, que aliado a uma diminuição da produção de massa verde induziu o decréscimo da produção de matéria seca.

Silva (2009) verificou pela correlação de Pearson, que a altura da planta apresentou maior magnitude de associação com a produção de matéria seca, sendo, portanto uma medida importante no que tange a seleção de plantas para melhoramento.

A resposta da altura da planta às doses de esterco bovino aplicadas ao solo, independentemente do espaçamento de plantio utilizado, está associada ao aporte de nitrogênio pelo esterco, pois sob alto suprimento de nitrogênio ocorre maior crescimento das plantas (Marschner, 1995). Neste trabalho, os teores de nitrogênio nos cladódios de palma forrageira cresceram linearmente em resposta às doses de esterco aplicadas, similarmente à altura da planta.

No presente trabalho houve uma relação direta entre produção de massa verde e matéria seca, com o número de cladódios por planta, altura da planta e índice de área do cladódio. Os espaçamentos em fileira simples (1,0 x 0,5 e 2,0 x 0,25m) apresentaram na média produção de massa verde e matéria seca superior ao espaçamento em fileira dupla (3,0 x 1,0 x 0,25m).

4.3. Composição bromatológica da palma forrageira

A análise bromatológica tem como objetivo principal conhecer a composição química dos alimentos analisados, além de verificar a identidade e pureza, sejam elas de natureza orgânica ou inorgânica (Silva & Queiroz, 2009).

4.3.1. Teor de matéria seca

Para o teor de matéria seca houve interação entre espaçamentos e doses de esterco bovino ($P < 0,05$). O teor médio de matéria seca (MS) foi de 9,6 dag kg⁻¹

¹, o que está de acordo com a maioria dos dados citados na literatura (Farias et al., 2000; Melo et al., 2003).

O teor de matéria seca (MS) na palma forrageira cultivada nos diferentes espaçamentos de plantio foram similares para as diferentes doses de esterco aplicadas ao solo (Tabela 12).

Sem adição de esterco bovino ao solo (Tabela 12), o teor de matéria seca foi maior para a palma forrageira cultivada no espaçamento em fileira dupla, 3,0 x 1,0 x 0,25 m, comparado ao espaçamento em fileira simples 2,0 x 0,25 m, com a mesma distância entre plantas na fileira. Para as demais doses de esterco aplicadas ao solo o teor de matéria seca da palma forrageira não diferiu entre os espaçamentos de plantio testados.

Tabela 12. Teor de matéria seca (dag kg⁻¹) em tecidos da palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 dias após plantio

Espaçamento (m)	Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				Média
	0	30	60	90	
1,0 x 0,5	10,6 ab	8,5 a	11,6 a	9,5 a	10,0
2,0 x 0,25	7,7 b	10,2 a	8,9 a	9,7 a	9,2
3,0 x 1,0 x 0,25	11,4 a	7,8 a	9,2 a	10,2 a	9,6
Médias	9,9	8,8	9,9	9,8	9,6
CV (%)	14,7				

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV – coeficiente de variação.

No espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m, o teor médio de MS ajustou um comportamento quadrático em função das doses de esterco (Figura 26). O modelo ajustado estima o menor teor de matéria seca, 9,3 dag kg⁻¹, quando se aplica a dose de 55,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco. Para os espaçamentos 1,0 x 0,5 m e 2,0 x 0,25 m não houveram ajustamentos de modelo.

O teor de matéria seca em tecidos de cladódios de palma forrageira varia de acordo com a idade da planta e dos cladódios. Cladódios mais novos apresentam menores teores de matéria seca e os mais velhos, maiores teores. A adubação com matéria orgânica induz o crescimento da planta promovendo o aparecimento de novos cladódios, o que pode justificar a diminuição do teor de MS nas doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e o posterior pequeno aumento do teor

de MS para a dose de $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, porém inferior à concentração encontrada quando não se aplicou esterco, pois no tratamento sem esterco existe um menor crescimento da planta, permitindo assim um maior acúmulo no teor de MS. Em realidade ocorre um efeito de diluição, uma vez que a produção de massa fresca propiciada pelo crescimento no período favorável é bem mais intensa proporcionalmente à produção de matéria seca.

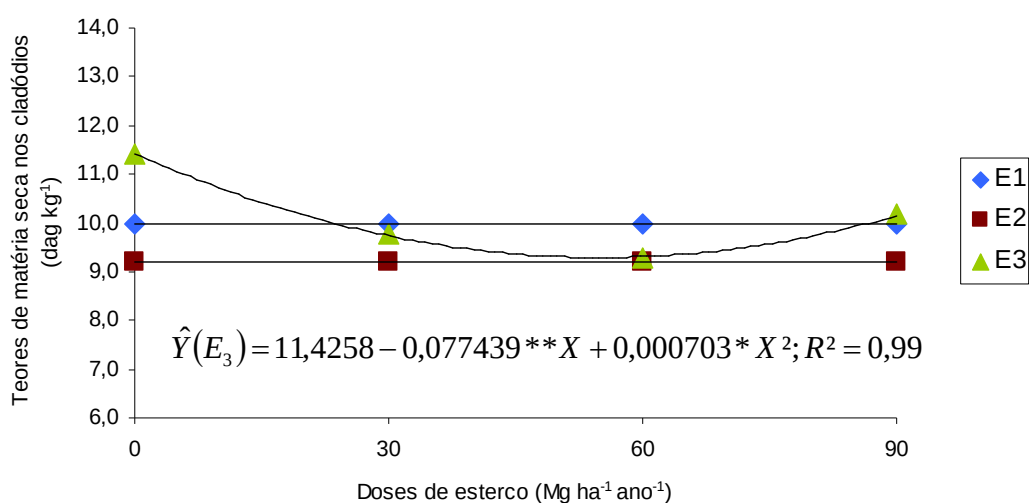


Figura 26. Teor de matéria seca em tecidos de palma forrageira 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$) e doses de esterco bovino

As plantas de locais secos, a exemplo da palma forrageira, possuem camadas de células especializadas com grande volume e órgãos como os cladódios para estocar água. Isso as tornam hidroestáveis, com capacidade de manter um balanço hídrico favorável com poucas alterações durante o dia e por um longo período de seca, e reflete o grau de suculência, expresso pela razão entre o conteúdo de água no momento da saturação (g) e a superfície (dm²). Uma forma de conservação de água é a utilização de carboidratos capazes de se hidratarem (mucilagem) em células, em dutos e em cavidades (Larcher, 2000).

A produção de matéria seca das plantas depende da intensidade das trocas gasosas, mas muito mais do balanço de CO₂ e do padrão específico de alocação de assimilados. A partição de assimilados em plantas de regiões secas, com dificuldade para aquisição de carbono, em função de mecanismos anti

estresse, favorece a formação de uma rede de suporte e xilema bem desenvolvido em vez de formação de um lenho bem desenvolvido e maciço. Dessa forma as plantas CAM são consideradas de baixa produção de matéria seca. A taxa de assimilação líquida expressa o aumento da matéria seca em relação à área foliar total, no caso área de cladódios. A taxa de assimilação líquida de matéria seca é representada por, $TAL = 1/A$, em que A = área foliar total, pois considera que a área foliar permanece constante durante o aumento da matéria seca e, na maioria dos casos, não é isso que ocorre, pois a área foliar também aumenta (Larcher, 2000). Durante a estação seca, os mecanismos que asseguram a sobrevivência das plantas são acionados em detrimento do trabalho de produção de matéria seca. Essas plantas excluem o estresse por seca também de forma temporal, por meio da promoção de um crescimento intenso durante o período que possibilita condições favoráveis, a exemplo da estação chuvosa (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2009), com maior disponibilidade hídrica e de nutrientes. Nestas condições, a palma forrageira, experimenta elevado crescimento da área de cladódios, com grande acúmulo de água, como mecanismo de sobrevivência em preferência ao balanço de CO_2 e acúmulo percentual de matéria seca.

O baixo teor de matéria seca da palma forrageira afeta o consumo deste componente pelos animais, necessitando de um aumento na quantidade fornecida para que os animais atinjam o correto consumo de matéria seca. Essa situação pode provocar problemas, como por exemplo, o emagrecimento dos animais, pois o controle da ingestão de alimentos passa a ser feito unicamente pelo enchimento do rúmen (controle físico) e como o alimento possui baixo teor de matéria seca implica em menor consumo.

Farias et al. (2000) estudando o teor médio de MS na palma forrageira, encontraram efeito para espaçamentos de plantio, com valores entre 9,1 a 10,1 dag kg^{-1} , onde o maior teor ocorreu no espaçamento de fileira simples e o menor nos de fileiras dupla, quando se manteve a mesma população de plantas.

Segundo Teles et al. (2002) o teor de MS na palma forrageira foi de 7,3 dag kg^{-1} , justificado pela menor idade da planta e pelo manejo aplicado, pois se tratava de palma com 270 dias após plantio (DAP) e cultivadas em vaso em casa de vegetação com frequentes irrigações. Dubeux Junior et al. (2010) também

trabalhando com palma em casa de vegetação e diferentes doses de adubação encontraram teor médio de MS da ordem de $6,1 \text{ dag kg}^{-1}$ aos 180 DAP, não encontrando significância para dose de fósforo e potássio, quando relacionado à MS. Tosto et al. (2007) relatam que o teor médio de MS na palma forrageira foi de $7,8 \text{ dag kg}^{-1}$.

Andrade et al. (2002) e Albuquerque et al. (2002) trabalhando com palma forrageira na alimentação de vacas descrevem o teor médio de MS da ordem de $12,6 \text{ dag kg}^{-1}$ e $11,6 \text{ dag kg}^{-1}$, valores acima do encontrado no presente trabalho ($9,6 \text{ dag kg}^{-1}$).

Araújo (2009) encontrou efeito para espaçamentos de plantio e dose de fósforo em trabalho com palma forrageira, sendo o teor médio encontrado para a população de $23.529 \text{ plantas ha}^{-1}$ de $11,9 \text{ dag kg}^{-1}$ de MS, valor superior ao encontrado neste trabalho de $9,6 \text{ dag kg}^{-1}$.

4.3.2. Teor de nitrogênio total e proteína bruta

A média do teor de nitrogênio total (NT) da palma forrageira encontrada foi de $1,72 \text{ dag kg}^{-1}$. As médias diferiram ($P < 0,05$) para as diferentes doses de esterco bovino aplicadas ao solo.

Na Figura 27 pode-se verificar a porcentagem de nitrogênio total (NT) em tecidos de cladódios de palma forrageira adubada com diferentes doses de esterco bovino aos 600 dias após o plantio.

A Figura 27 ilustra a variação do teor de nitrogênio total (NT), avaliada aos 600 DAP, em tecidos de cladódios de palma forrageira em resposta às doses de esterco. Os teores de nitrogênio total aumentaram com incrementos das doses de esterco aplicadas ao solo, mostrando um comportamento linear positivo. Pelo modelo ajustado estima-se que para cada $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco aplicado, houve uma incorporação de $0,13 \text{ dag kg}^{-1}$ de nitrogênio, passando de $1,52 \text{ dag kg}^{-1}$, no tratamento sem adição de esterco, para $1,92 \text{ dag kg}^{-1}$ na dose $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco, melhorando o valor nutritivo da forragem, que se traduz em aumento do teor protéico da palma. Assim como para a proteína bruta, o teor de nitrogênio nos tecidos de cladódios de palma forrageira é dependente da disponibilidade de nitrogênio no solo.

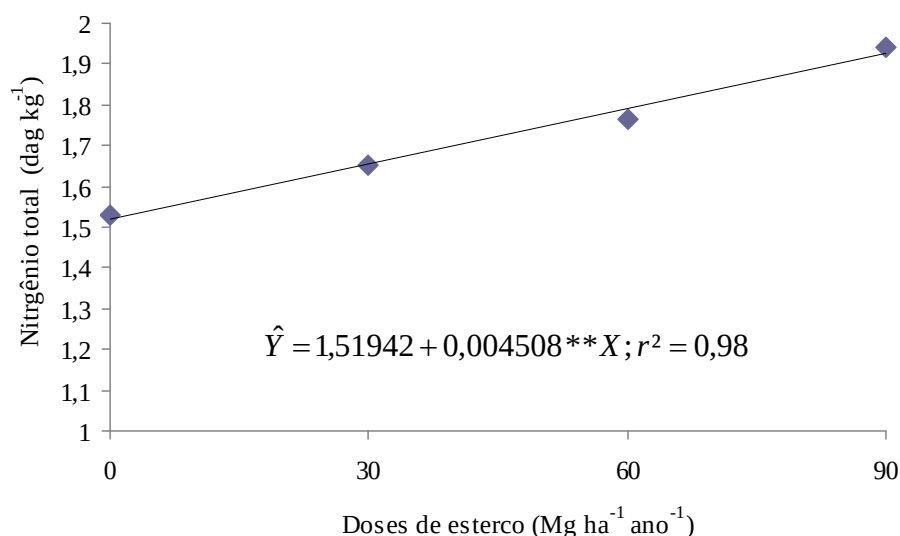


Figura 27. Teor de nitrogênio total (NT) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

O teor de nitrogênio total aqui citado difere do teor apresentado no item 4.1.1 macronutrientes. Essa diferença decorre da amostragem de tecidos de cladódios. No item 4.1.1, para avaliação do estado nutricional da planta, a amostragem foi realizada apenas nos cladódios recém maduros, de máxima atividade fisiológica. Para avaliação da qualidade nutricional, a amostragem refere-se a todos os cladódios que seriam normalmente colhidos, o que envolve cladódios fonte e cladódios dreno, preservando apenas os cladódios primários e sabe-se que o nitrogênio é nutriente de alta mobilidade na planta (Marschner, 1995; Malavolta, 2006).

Os teores de proteína bruta (PB) diferiram ($P < 0,05$) para doses de esterco bovino aplicadas ao solo, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados.

O teor médio de proteína bruta foi de 10,7 dag kg⁻¹. A palma forrageira tradicionalmente é conhecida como uma planta com baixo teor de proteína bruta, em média de 4,6 dag kg⁻¹ (Santos et al., 2005), 4,83 dag kg⁻¹ (Tosto et al., 2007), 5,1 dag kg⁻¹ (Melo et al., 2003), 4,5 dag kg⁻¹ (Farias et al., 2000), 4,5 dag kg⁻¹ (Andrade et al., 2002), 4,5 dag kg⁻¹ (Wanderley et al., 2002), valores inferiores ao encontrado.

Os teores de proteína bruta nos cladódios de palma forrageira apresentaram um comportamento linear ascendente em resposta às diferentes doses de esterco aplicadas ao solo (Figura 13). Para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco aplicado estima-se uma incorporação de 0,84 dag kg⁻¹ de proteína bruta nos cladódios da palma forrageira em função do modelo ajustado.

Na Figura 28 pode-se verificar a porcentagem de proteína bruta (PB) em tecidos de cladódios da palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 DAP.

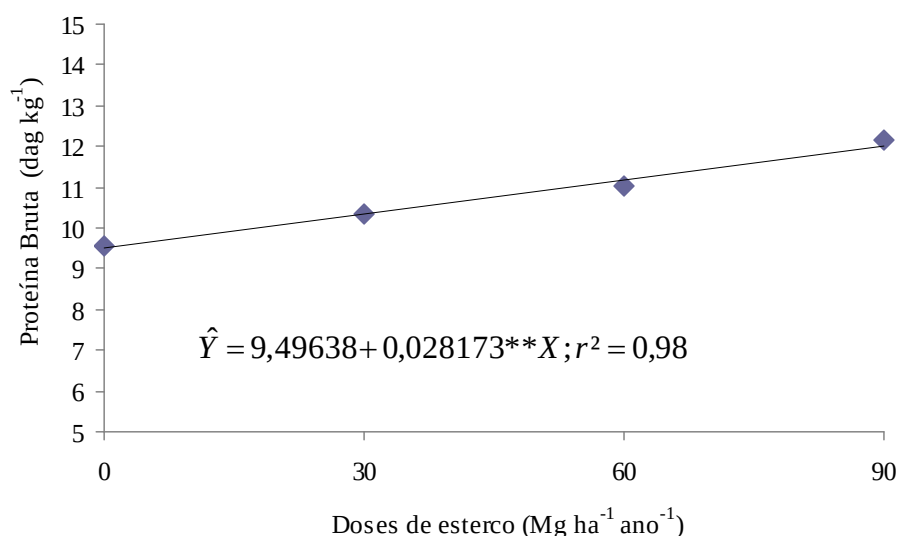


Figura 28. Teor de proteína bruta em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

Dubeux Junior et al. (2006) concluíram que a fertilização com nitrogênio pode aumentar o teor de proteína da palma forrageira, e mostraram que o teor de nitrogênio aumentou de 0,67 dag kg⁻¹ (palma sem adubação) para 1,39 dag kg⁻¹ (com adubação de 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio); e que o teor de proteína bruta da palma forrageira passou de 4,2 dag kg⁻¹ para 8,7 dag kg⁻¹, sendo possível melhorar o valor protéico da forragem com a fertilização da cultura. Os dados dos autores corroboram com os resultados aqui apresentados, onde o teor protéico de 9,5 dag kg⁻¹ para o tratamento sem adição de esterco bovino, atinge 12,0 dag kg⁻¹ ao se aplicar 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino.

Peixoto (2009) trabalhando com palma forrageira adubada na dose 20 Mg ha⁻¹ de esterco, obteve efeito positivo no teor protéico, de 4,29 dag kg⁻¹ para 5,15 dag kg⁻¹, com incremento de 0,86 dag kg⁻¹, pouco superior ao aqui encontrado (0,84 dag kg⁻¹ para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco aplicado).

Farias et al. (2000) ao estudarem espaçamentos de plantio e teores de proteína na palma forrageira, não encontraram significância, fato que concorda com os resultados aqui encontrados. O teor de proteína está diretamente relacionado com o teor de nitrogênio nos cladódios da palma forrageira, que é função do nível de nitrogênio disponível no solo. No presente trabalho o teor de nitrogênio nos cladódios sofreram influência dos espaçamentos de plantio e das doses de esterco aplicadas ao solo, portanto, era de se esperar que o teor de proteína bruta também fosse influenciado pelos espaçamentos testados.

Esse teor de proteína bruta relativamente elevado pode ser explicado pelo ativo crescimento da planta, pois a mesma foi colhida no início da estação seca, e ainda apresentava com um número elevado de cladódios novos.

Mesmo sendo considerado um alimento com baixo teor de proteína bruta (4 a 10 dag kg⁻¹), a palma forrageira é um dos poucos alimentos disponíveis para os animais no período seco. Somada à possibilidade de incremento protéico em função da adubação, torna-se um importante alimento para a condição semiárida, que com a associação a uma fonte de fibra pode, efetivamente, amenizar o problema nutricional do rebanho no período seco.

4.3.3. Teor de extrato etéreo

As médias dos teores de extrato etéreo (EE) não diferiram entre si para os fatores testados (P>0,05).

O teor médio encontrado para EE foi 4,7 dag kg⁻¹, superior ao encontrado por Wanderley et al. (2002) de 0,84 dag kg⁻¹; Melo et al. (2003) de 2,1 dag kg⁻¹ e Tosto et al. (2007) de 0,98 dag kg⁻¹.

Peixoto (2009) trabalhando com palma forrageira não adubada e adubada com 20 Mg ha⁻¹ de esterco, encontrou teor de EE da ordem de 1,31 e 1,22 dag kg⁻¹, para áreas não adubadas e adubadas, respectivamente.

4.3.4. Teor de cinza

Os resultados para o teor médio de cinzas foi de 14,1 dag kg⁻¹ (Tabela 13).

As médias diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) para espaçamentos, independentemente das doses de esterco bovino aplicadas ao solo. O maior teor ocorreu no espaçamento 2,0 x 0,25 m (14,9 dag kg⁻¹) e o menor no 1,0 x 0,5 m (dag kg⁻¹), sendo que não houve diferença entre 2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, assim como entre 1,0 x 0,5 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m.

Tabela 13. Teor de cinza em tecidos de palma forrageira cultivadas sob diferentes espaçamentos aos 600 dias após plantio

Espaçamento (m)	Cinza (dag kg ⁻¹)
1,0 x 0,5	13,2 b
2,0 x 0,25	14,9 a
3,0 x 1,0 x 0,25	14,2 ab
Média	14,1
CV	7,5

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV= coeficiente de variação.

O teor médio de cinza foi semelhante ao descrito por Melo et al. (2003) de 14,2 dag kg⁻¹; Peixoto (2009) de 13,4 dag kg⁻¹; Souza et al. (2010) de 14,2 dag kg⁻¹ e inferior ao encontrado por Tosto et al. (2007) de 16,3 dag kg⁻¹.

4.3.5. Teor de fibras

Teor de fibra em detergente neutro

As médias dos teores de fibra em detergente neutro (FDN) não diferiram entre si para os fatores testados ($P > 0,05$).

O teor médio de fibra em detergente neutro (FDN) foi de 29,3 dag kg⁻¹, valor superior aos encontrados por Wanderley et al. (2002) de 26,2 dag kg⁻¹; Melo et al. (2003) de 25,4 dag kg⁻¹ e Albuquerque et al. (2002) de 25,6 dag kg⁻¹; e equivalente ao determinado por Tosto et al. (2007) de 29,0 dag kg⁻¹.

Teor de fibra em detergente neutro corrigido para cinza e proteína

As médias dos teores de fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína (FDNcp) não diferiram entre si para os fatores testados ($P > 0,05$).

O teor médio de fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína (FDNcp) foi de 27,8 dag kg⁻¹ e correspondente aos descritos por Pessoa et al. (2009) de 28,7 dag kg⁻¹; Melo et al. (2006) de 27,7 dag kg⁻¹; e foi superior ao encontrado por Pessoa et al. (2004) de 24,4 dag kg⁻¹ e inferior ao determinado por Magalhães et al. (2004) de 32,5 dag kg⁻¹.

Teor de fibra em detergente ácido

As médias dos teores de fibra em detergente ácido (FDA) não diferiram entre si para os fatores testados ($P>0,05$).

O teor médio de fibra em detergente ácido (FDA) foi de 17,0 dag kg⁻¹ que foi inferior ao descrito por Pessoa et al. (2009) de 22,5 dag kg⁻¹; Melo et al. (2006) de 22,3 dag kg⁻¹; Magalhães et al. (2004) de 23,9 dag kg⁻¹; Wanderley et al. (2002) de 20,5 dag kg⁻¹; Tosto et al. (2007) de 25,8 dag kg⁻¹ e correspondente ao encontrado por Albuquerque et al. (2002) de 17,2 dag kg⁻¹ e Peixoto (2009) de 18,7 dag kg⁻¹; ressaltando que o ultimo autor trabalhou com palma forrageira adubada com esterco na dose de 20 Mg ha⁻¹.

Teor de hemicelulose

O teor médio de hemicelulose encontrado em tecido da palma forrageira foi de 12,3 dag kg⁻¹. As médias de hemicelulose diferiram ($P<0,05$) para as diferentes doses de esterco bovino adicionadas ao solo. Tosto et al. (2007) encontraram valor inferior (3,3 dag kg⁻¹) para o teor de hemicelulose em seu trabalho.

Pode-se observar na Figura 29 o teor de hemicelulose em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 DAP.

O teor de hemicelulose variou de forma linear decrescente quando realizou adubação com esterco. Pelo modelo ajustado estima-se que o teor de hemicelulose passou de 13,9 dag kg⁻¹ para 10,6 dag kg⁻¹, para o tratamento sem e com 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, respectivamente (Figura 29).

Em sua revisão Santos (2006) descreve que quando se aplicam doses crescentes de nitrogênio ao solo, as respostas são benéficas, acarretando em diminuição da fibra, notadamente dentro de uma mesma idade e dentro de um mesmo gênero de gramíneas forrageiras.

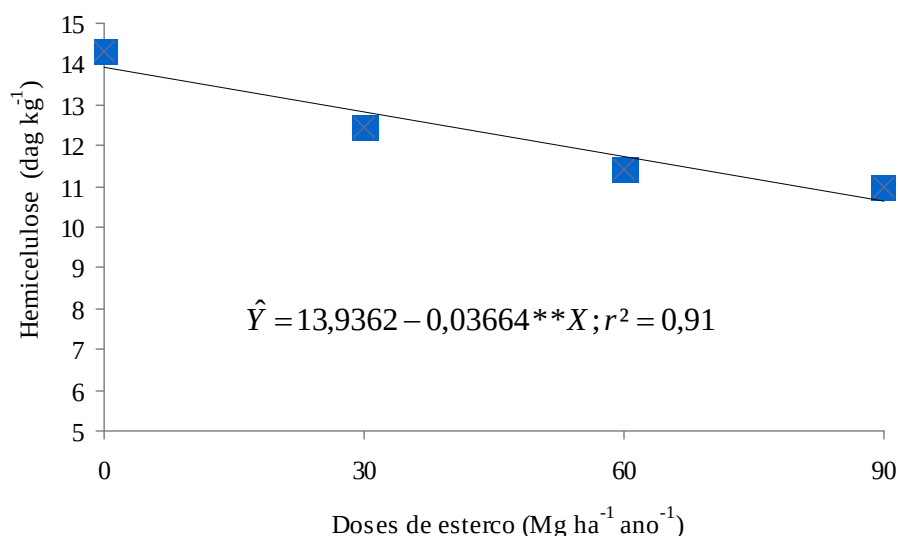


Figura 29. Teor de hemicelulose em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

Teor de lignina

As médias dos teores de lignina não diferiram entre si para os fatores testados ($P > 0,05$).

O teor médio de lignina encontrado foi de 2,9 dag kg⁻¹ e foi inferior ao determinado por Tosto et al. (2007) de 4,6 dag kg⁻¹; Pessoa et al. (2009) de 5,2 dag kg⁻¹; Magalhães et al. (2004) de 7 dag kg⁻¹ e correspondente ao de Peixoto (2009) de 2,9 dag kg⁻¹; ressaltando que o ultimo autor trabalhou com palma forrageira adubada com esterco na dose de 20 Mg ha⁻¹.

Teor de celulose

As médias dos teores de celulose não diferiram entre si para os fatores testados ($P > 0,05$). O teor médio de celulose foi de 14,5 dag kg⁻¹ que foi inferior ao determinado por Tosto et al. (2007) de 21,2 dag kg⁻¹.

Teor de nitrogênio insolúvel em detergente neutro em função do nitrogênio total

Para o nitrogênio insolúvel em detergente neutro em função do nitrogênio total (NIDN_{NT}), ocorreram diferenças entre as médias ($P < 0,05$) para doses de esterco bovino aplicadas ao solo.

Na Figura 30 pode-se verificar o teor de nitrogênio insolúvel em detergente neutro em função do nitrogênio total ($NIDN_{NT}$) em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 DAP.

As médias dos teores de nitrogênio insolúvel em detergente neutro em função do nitrogênio total ($NIDN_{NT}$) foi de $16,7 \text{ dag kg}^{-1}$. Essa variável ajustou um comportamento linear decrescente (Figura 16), estima-se que o teor variou de $19,0 \text{ dag kg}^{-1}$ nos tratamentos sem adubação para $14,4 \text{ dag kg}^{-1}$ nos tratamentos com $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco bovino, segundo o modelo ajustado. O comportamento foi inversamente proporcional à adição de esterco. A adição de esterco de bovino eleva o teor de nitrogênio nos tecidos de cladódios, fazendo com que o nitrogênio insolúvel em detergente neutro diminua, pois com o crescimento de novos tecidos, diminui o teor de fibras, a qual o nitrogênio insolúvel está aderido (parede celular).

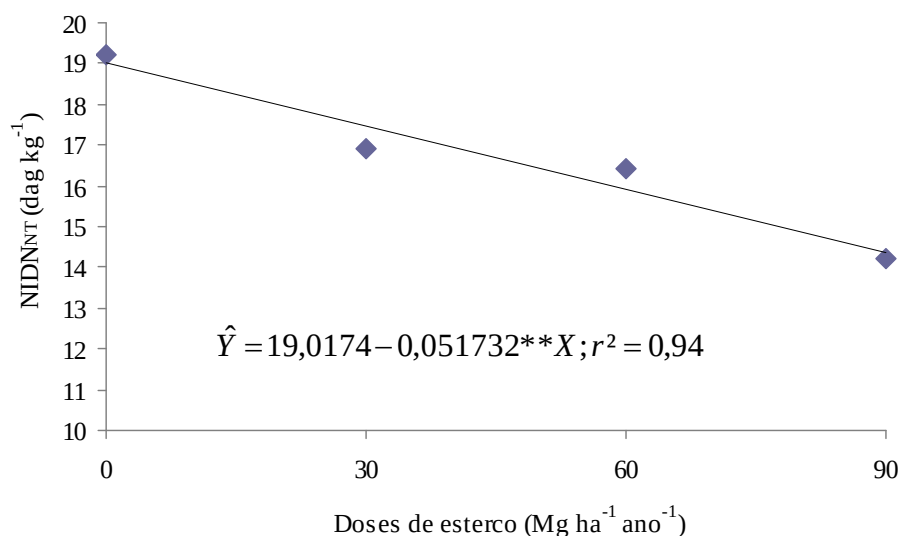


Figura 30. Teor de nitrogênio insolúvel em detergente neutro em função do nitrogênio total ($NIDN_{NT}$) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

Teor de nitrogênio insolúvel em detergente ácido em função do nitrogênio total

Para o nitrogênio insolúvel em detergente ácido corrigido para o nitrogênio total, ocorreram diferenças entre as médias ($P < 0,05$) para espaçamentos de

plantio utilizados e doses de esterco bovino aplicadas ao solo, de forma independente, sem interação entre os fatores testados.

Na Figura 31 observa-se o teor de nitrogênio insolúvel em detergente ácido em função do nitrogênio total ($NIDA_{NT}$), em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 DAP.

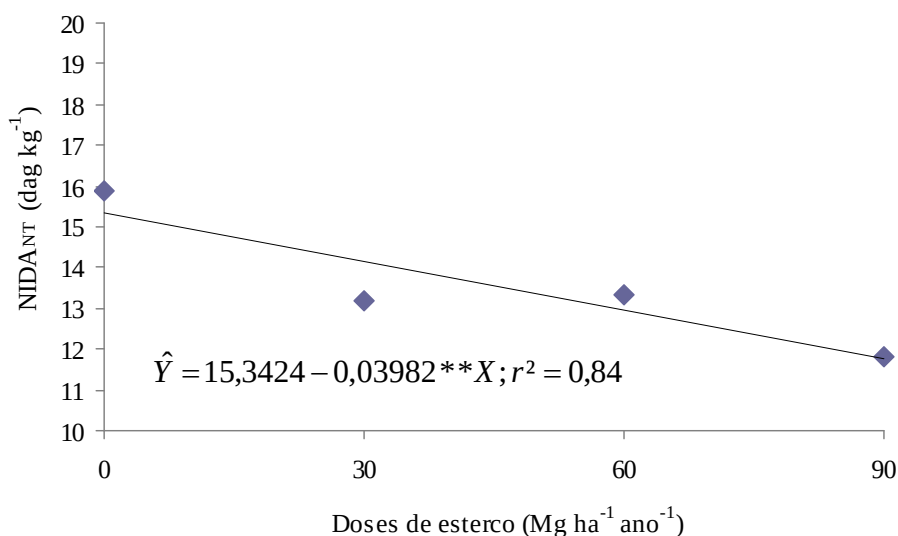


Figura 31. Teor de nitrogênio insolúvel em detergente ácido em função do nitrogênio total ($NIDA_{NT}$) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

O teor médio de $NIDA_{NT}$ encontrado foi de 13,5 dag kg⁻¹ (Tabela 14). O maior teor ocorreu no espaçamento 2,0 x 0,25 m e o menor no 1,0 x 0,5 m, sendo que não houve diferença entre 2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, assim como entre 1,0 x 0,5 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m.

Os teores de $NIDA_{NT}$, avaliados aos 600 DAP, em tecidos de cladódios de palma forrageira variaram de forma linear decrescente (Figura 31), estima-se que o teor variou de 15,3 dag kg⁻¹ nos tratamentos sem adubação para 11,7 dag kg⁻¹ nos tratamentos com 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, segundo o modelo ajustado. Evidenciaram uma relação inversa à adição de esterco. Para o $NIDA_{NT}$ as doses de esterco bovino aumenta o teor de nitrogênio no cladódio, diminuindo o nitrogênio insolúvel em detergente ácido, aderido à parede celular.

Tabela 14. Teor de nitrogênio insolúvel em detergente ácido em função do nitrogênio total (NIDA_{NT}) em tecidos de palma forrageira cultivadas sob diferentes espaçamentos aos 600 dias após plantio

Espaçamento (m)	NIDA _{NT} (dag kg ⁻¹)
1,0 x 0,5	12,3 b
2,0 x 0,25	14,8 a
3,0 x 1,0 x 0,25	13,5 ab
Média	13,5
CV	18,1

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV= coeficiente de variação.

Teor de carboidratos totais

O teor médio encontrado de carboidratos totais (CHT) em tecido de palma forrageira foi de 73,4 dag kg⁻¹. As médias de CHT diferiram (P<0,05) para as doses de esterco bovino aplicado ao solo.

Na Figura 32 pode-se verificar a porcentagem de carboidratos totais (CHT) em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 DAP.

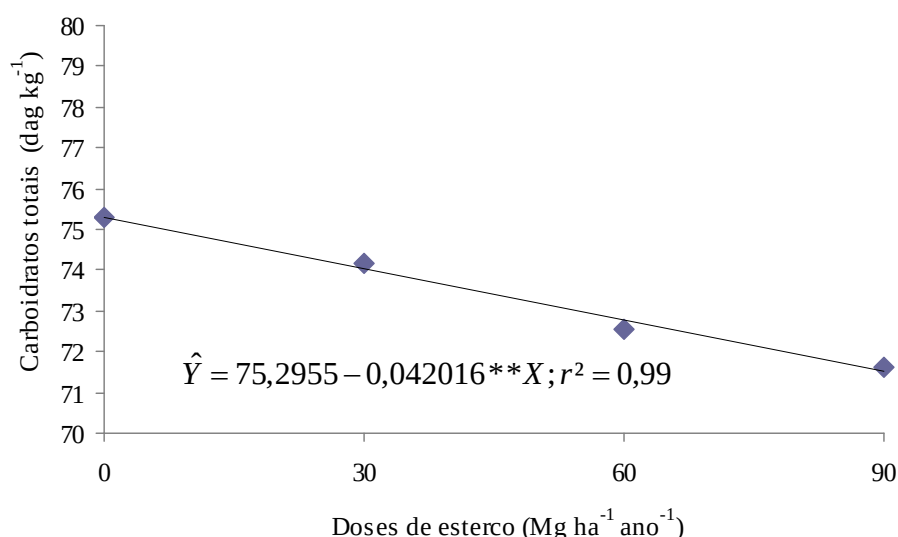


Figura 32. Teor de carboidratos totais (CHT) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

O teor de CHT variou de forma linear decrescente quando realizou adubação com esterco. O modelo ajustado estima que o teor de carboidratos

totais passou de 75,3 dag kg⁻¹ para 71,5 dag kg⁻¹, para o tratamento com 0 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, respectivamente (Figura 32). Isso implica em melhoria da qualidade da forragem produzida, pois em função do crescimento da planta, com a adição de novos tecidos, mais tenros, existe um menor teor de carboidratos estruturais (menos lignificados). Segundo Balsalobre et al. (2003), a variação na qualidade dessa fração interfere diretamente na disponibilidade de energia para o ruminante, ou seja, o avanço da idade da planta causa aumento nos constituintes da parede celular, diminuindo, assim, os teores de carboidratos não fibrosos (CNF) e, conseqüentemente, o fornecimento de energia de rápida degradação para os microrganismos ruminais.

Comportamento semelhante foi observado por Peixoto (2009). O autor constatou decréscimo no teor de CHT de 81,3 dag kg⁻¹ para 79,9 dag kg⁻¹, apesar de não ter encontrado diferença entre os tratamentos sem adubação e com adubação orgânica na dose de 20 Mg ha⁻¹, o que é justificado pois a dose aplicada foi relativamente baixa. Segundo Henriques et al. (2007) o aumento no teor de nitrogênio provoca diminuição no teor de carboidratos fibrosos da parede celular para algumas gramíneas.

Valores superiores foram encontrados por Andrade et al. (2002), Melo et al. (2003) e Tosto et al. (2007) (88,0; 78,6 e 77,9 dag kg⁻¹, respectivamente).

4.3.6. Fracionamento de carboidratos e proteína

As médias dos teores de carboidratos não fibrosos (A + B1), fibra disponível (B2) e fibra indisponível (C) em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 DAP não diferiram ($P>0,05$) para os fatores testados.

Para a fração A + B1, e C dos carboidratos, os valores encontrados foram de 60,5 e 10,0 dag kg⁻¹, respectivamente, e inferiores aos determinados por Duarte (2008) que foram de 73,7 e 22,7 dag kg⁻¹, respectivamente; já para fração B2 o valor foi de 29,4 dag kg⁻¹, superior ao determinado pelo autor supracitado que foi de 3,9 dag kg⁻¹. Wanderley et al. (2002) ao apresentarem a análise bromatológica da palma forrageira descrevem um valor equivalente de 61,7 dag kg⁻¹ para a fração A + B1.

Estudando o fracionamento de carboidratos de algumas gramíneas, Henrique et al. (2007) verificaram que a adubação nitrogenada não apresentou resposta para os carboidratos não fibrosos; no presente trabalho também tal fato foi observado, não havendo diferença em função das doses de esterco bovino aplicadas ao solo.

A fração C ($10,0 \text{ dag kg}^{-1}$) está ligada diretamente ao teor de lignina da planta analisada. Como na palma forrageira o teor de lignina ($2,9 \text{ dag kg}^{-1}$) é baixo, comparado a outros alimentos, por exemplo, silagem de sorgo e girassol, $4,3 \text{ dag kg}^{-1}$ e $7,6 \text{ dag kg}^{-1}$ (Castro et al., 2008); silagem de capim elefante, $6,7 \text{ dag kg}^{-1}$ (Souza et al., 2003), isso implica em baixo teor de carboidratos indigeríveis. Essa situação a leva a alta degradabilidade ($89,3 \text{ dag kg}^{-1}$) da palma forrageira.

Em função do baixo teor de fibra disponível ($29,4 \text{ dag kg}^{-1}$) e elevado teor de carboidratos não fibrosos ($60,5 \text{ dag kg}^{-1}$), a palma forrageira deve ser fornecida aos animais associada a alimentos fibrosos. Essa associação tem o intuito de regular a passagem pelo rúmen com a finalidade de provocar uma ruminação eficiente, obtendo um melhor aproveitamento do seu potencial energético, evitando dessa forma distúrbios digestivos.

Os teores médios de nitrogênio não protéico (A) e proteína disponível lentamente degradável (B3), não apresentaram diferença ($P < 0,05$) para os fatores testados.

O teor médio de nitrogênio não protéico (A) foi de $33,8 \text{ dag kg}^{-1}$. O nitrogênio não protéico é uma importante fonte de nitrogênio para microrganismos que fermentam carboidratos estruturais, permitindo assim uma maior disponibilidade protéica ao longo do trato gastrintestinal.

Segundo Russell et al. (1992), fontes de nitrogênio não protéico são fundamentais para o bom funcionamento ruminal, pois os microrganismos ruminais, fermentadores de carboidratos estruturais, utilizam amônia como fonte de nitrogênio. Todavia, altas proporções de nitrogênio não protéico podem resultar em perdas nitrogenadas, se houver a falta do esqueleto de carbono prontamente disponível para a síntese de proteína microbiana. No caso da palma forrageira pelo seu baixo teor de fibras, deve ser associada a fontes de fibras para promover um melhor aproveitamento do nitrogênio não protéico.

O teor médio de proteína disponível lentamente degradável (B3) foi de 3,1 dag kg⁻¹. Essa fração da proteína se encontra ligada à parede celular e não sofreu interferência da adubação e nem dos espaçamentos testados.

Duarte (2008) encontrou os seguintes valores referentes ao fracionamento da proteína da palma forrageira, para a fração A de 27,3 dag kg⁻¹, B1 + B2 de 71,5 dag kg⁻¹, e B3 de 0,7 dag kg⁻¹, valores que diferem do encontrado nesse trabalho.

O teor médio de proteína de rápida e de intermediária degradação (B1 + B2) foi de 49,5 dag kg⁻¹. A proteína de rápida e intermediária degradação diferiu ($P < 0,05$) para as doses de esterco aplicadas ao solo (Figura 19).

A proteína verdadeira de rápida e intermediária degradação (B1 + B2) variou de 46,4 a 52,5 dag kg⁻¹ para dose 0 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino aplicada ao solo (Figura 33). Isso implica em um aumento dessa fração de 13,1 dag kg⁻¹. Esse incremento ocorreu em função da maior disponibilidade de nitrogênio no solo para a planta de palma forrageira.

Na Figura 33 observa-se a porcentagem de proteína de rápida e de intermediária degradação (B1 + B2) em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco aos 600 DAP.

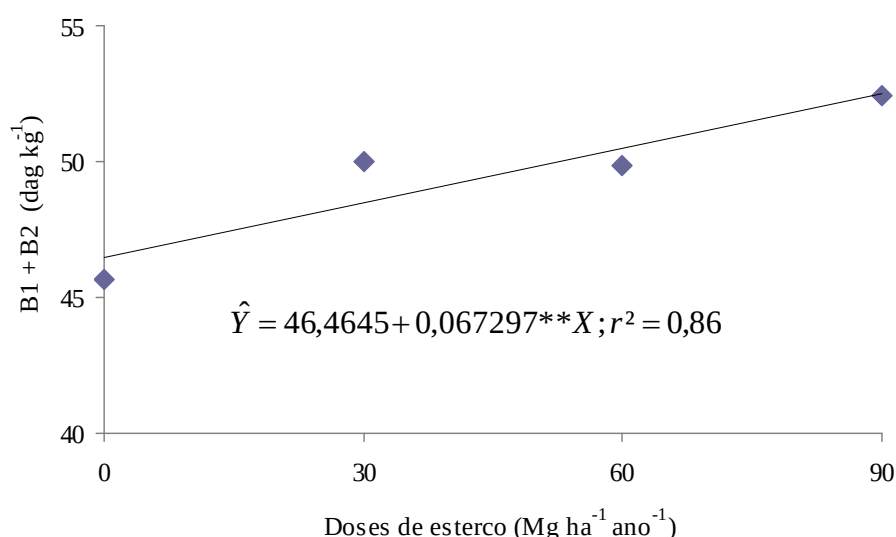


Figura 33. Teor de proteína de rápida e de intermediária degradação (B1 + B2) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

Os resultados para os teores de proteína indigerível (C) se encontram-se na Tabela 15. O valor médio encontrado foi de 13,5 dag kg⁻¹. A proteína indigerível apresentou diferença (P<0,05) para os diferentes espaçamentos utilizados e doses de esterco bovino adicionadas ao solo de maneira independente. A representação da mesma está na Figura 20.

O maior teor médio de proteína indigerível (C) ocorreu no espaçamento 2,0 x 0,25 m e o menor no 1,0 x 0,5 m, sendo que não houve diferença entre 2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, assim como entre 1,0 x 0,5 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m.

Tabela 15. Teor de proteína indigerível (C) em tecidos de palma forrageira cultivadas sob diferentes espaçamentos aos 600 dias após plantio

Espaçamento (m)	C (dag kg ⁻¹)
1,0 x 0,5	12,3 b
2,0 x 0,25	14,8 a
3,0 x 1,0 x 0,25	13,5 ab
Média	13,5
CV	18,1

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
CV= coeficiente de variação.

Observa-se na Figura 34 o teor de proteína indigerível (C) em tecidos de cladódios de palma forrageira em função das doses de esterco aos 600 DAP.

O teor de proteína indigerível decresceu de forma linear em relação às doses de esterco aplicadas ao solo (Figura 34), variou de 15,3 dag kg⁻¹ no tratamento sem adubação para 11,7 dag kg⁻¹ nos tratamentos com 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino, segundo o modelo ajustado. Apresentou uma relação inversa à adição de esterco. À medida que aumenta o teor de nitrogênio no solo, via adição de esterco, aumenta a disponibilidade do nutriente e, conseqüentemente, aumenta a absorção do mesmo. Maior teor de nitrogênio no cladódio de palma forrageira induz a uma menor porcentagem de nitrogênio insolúvel, o que traduz em menor porcentagem de proteína indigerível.

As doses de esterco aplicadas ao solo evidenciaram uma relação direta com o teor de proteína bruta na palma forrageira. Com o fracionamento dos compostos nitrogenados foi possível verificar que quando aumenta a quantidade de nitrogênio no solo em função das dose de esterco, aumenta o teor de proteína

verdadeira de rápida e intermediária degradação (B1 + B2) e diminui o teor de proteína indigerível (C). Com a diminuição da fração C em função das doses de esterco, ocorre maior disponibilidade de proteína verdadeira, caracterizando uma melhoria na qualidade da palma forrageira.

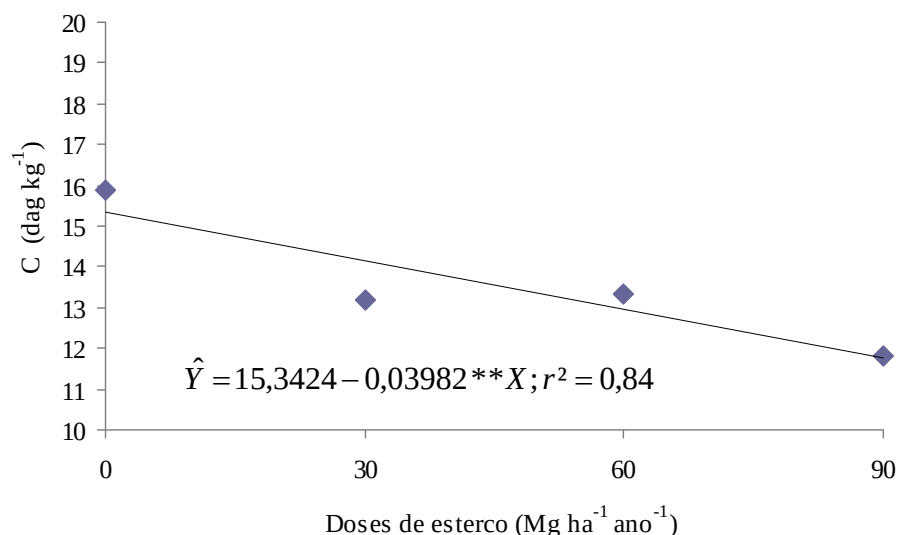


Figura 34. Teor de proteína indigerível (C) em tecidos de cladódios de palma forrageira 600 dias após plantio, adubada com diferentes doses de esterco bovino

4.3.7. A digestibilidade *in situ* na matéria seca

A digestibilidade *in situ* na matéria seca (DIS_{MS}) não diferiu para os fatores testados ($P > 0,05$). A digestibilidade *in situ* na matéria seca (DIS_{MS}) foi de 89,3 dag kg⁻¹.

4.4. Extração/exportação de nutrientes pela da palma forrageira

Quantificar a extração e a exportação de nutrientes, em qualquer cultura, é fundamental para assegurar a produtividade e a sustentabilidade do sistema de produção agrícola adotado na propriedade. A estimativa da quantidade de nutrientes extraída pela planta e da quantidade efetivamente exportada, que varia com a parte do vegetal colhida, possibilita a reposição correta desses nutrientes via adubação, de modo a manter a nutrição adequada das plantas e um balanço

equilibrado de entrada e saída de nutrientes no sistema, para evitar a diminuição progressiva da fertilidade do solo.

Essa discussão reporta à equação geral da adubação (Malavolta et al., 2006; Malavolta, 2008); $M \text{ (adubo)} = [M \text{ (exigência)} - M \text{ (fornecimento)}] \times f$; em que, M é o elemento, exigência é a necessidade da cultura, fornecimento é o nutriente disponibilizado pelo solo e f é um fator maior que 1, devido às perdas. Na palma forrageira o conhecimento da exigência é fundamental, pois a produção colhida é toda exportada, e se, esses nutrientes não forem repostos ao longo do tempo (longevidade em torno de 15 anos) a produtividade tende a diminuir provocando prejuízos ao sistema de produção. Nessa cultura, a colheita depende da definição da posição de corte, se vai ou não preservar os cladódios primários ou de ordem superior.

No presente trabalho, a quantidade de nutrientes exportada, coincide com a quantidade extraída e acumulada na matéria seca dos tecidos dos cladódios. A colheita dos cladódios foi realizada preservando três cladódios primários por planta, uma vez que, é necessário manter a planta com uma determinada reserva de nutrientes, capaz de fazer com que a produção para o próximo período, não seja prejudicada, em função de baixo índice de cladódios (IAC).

4.4.1. Extração/exportação de macronutrientes

Nitrogênio

As médias das quantidades de nitrogênio extraídas/exportadas (NEE) pela palma forrageira estão descritas na Tabela 16. A quantidade de nitrogênio extraída/exportada pela palma forrageira variou ($P < 0,05$), de forma independente com os espaçamentos de plantio utilizados (Tabela 16), e com as doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 35), sem ocorrência de interações entre os fatores estudados.

A média de nitrogênio extraída/exportada foi de $240,1 \text{ kg ha}^{-1}$. Ocorreram diferenças entre os espaçamentos de plantio testados com a maior quantidade de nitrogênio extraído/exportado registrada no espaçamento $1,0 \times 0,5 \text{ m}$ ($269,5 \text{ kg ha}^{-1}$) e a menor, no $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$ ($190,6 \text{ kg ha}^{-1}$). A palma cultivada sob espaçamento $2,0 \times 0,25 \text{ m}$ apresentou NEE intermediária.

Maior extração constatada no espaçamento em fileira simples 1,0 x 0,5 m e decréscimo da extração com o aumento da proximidade entre as plantas na fileira, como ocorrido nos espaçamentos de 2,0 x 0,25 m e de 3,0 x 1,0 x 0,25 m é justificada pela maior competição e produtividade, pois como inferem Novais & Mello (2007), à medida que aumenta a população de plantas, ou que diminui a distância entre plantas, aumenta a competição das raízes por nutrientes de maior mobilidade no solo, como o nitrogênio, transportado preferencialmente por fluxo de massa.

Tabela 16. Extração/exportação de nitrogênio (NEE), fósforo (PEE), potássio (KEE) e cálcio (CaEE), aos 600 DAP, em cladódios de palma forrageira (kg ha⁻¹) cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	NEE (kg ha ⁻¹)	PEE (kg ha ⁻¹)	KEE (kg ha ⁻¹)	CaEE (kg ha ⁻¹)
1,0 x 0,5	269,5 a	40,3 a	731,6 ab	611,9 a
2,0 x 0,25	260,3 b	37,5 ab	821,2 a	612,9 a
3,0 x 1,0 x 0,25	190,6 c	28,2 b	590,7 b	418,3 b
Média	240,1	35,3	714,5	547,3
CV	19,7	32,5	20,9	22,1

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
CV= coeficiente de variação.

A maior quantidade de NEE ocorreu no 2,0 x 0,25m, sendo de 140 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca. A menor foi registrada no espaçamento 1,0 x 0,5 m, 125,6 kg ha⁻¹.

A extração/exportação de nitrogênio apresentou um comportamento linear crescente (Figura 35). O modelo ajustado estima que a extração/exportação de nitrogênio variou de 159,9 kg ha⁻¹ para 320,3 kg ha⁻¹, em resposta ao aumento da dose de esterco aplicada ao solo de 0 para 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, independentemente dos espaçamentos de plantio utilizados. Cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco aplicado ao solo corresponde à extração/exportação de 53 kg ha⁻¹ de nitrogênio na média.

Na média a palma extraiu/exportou 131,6 kg ha⁻¹ de nitrogênio para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida na área. Segundo Santos et al. (2002) a palma forrageira exporta 90 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca.

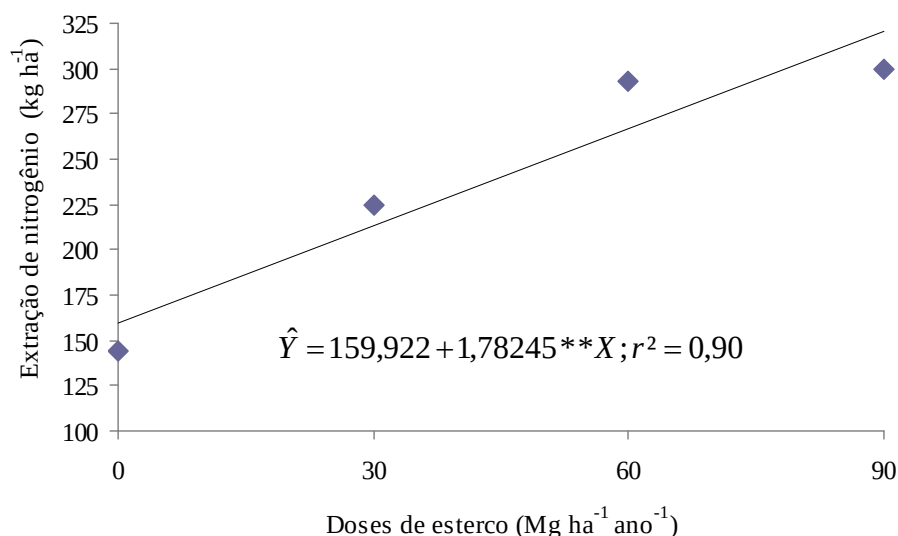


Figura 35. Extração/exportação de nitrogênio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

A idéia compartilhada pela maioria dos agricultores que cultivam a palma forrageira, de que a planta é rústica e produz em qualquer local sem muito trato, como um cultivo adaptado ao "bodismo", não parece ser verdadeira, pois a planta tem respondido à aplicação de diferentes tecnologias, tratos culturais, adubações, adensamento de plantio, manejo adequado na colheita, entre outros. Segundo Almeida (2011) a palma forrageira é muito cultivada na região semiárida do Estado da Bahia, sendo o sistema de produção e a utilização, caracterizado pela baixa adoção de tecnologia, levando à obtenção de uma produtividade inferior àquela que a cultura poderia produzir.

Concernente à quantidade de esterco adicionada ao solo, nas adubações de plantio e um ano após o plantio, quando se aplicou 90,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, a extração foi máxima atingindo a produção de 21,1 Mg ha⁻¹ de matéria seca, o que corresponde a 151,8 kg ha⁻¹ de NEE para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca.

Fósforo

A quantidade de fósforo extraída/exportada (PEE) pela palma forrageira diferiu ($P < 0,05$), com os espaçamentos de plantio utilizados (Tabela 16), e com as

doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 36), sem ocorrência de interações entre os fatores estudados.

A média de PEE foi de 35,3 kg ha⁻¹. Diferenças para PEE foram observadas apenas entre os espaçamentos de plantio 1,0 x 0,5 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, com maior e menor valor de extração de fósforo, respectivamente.

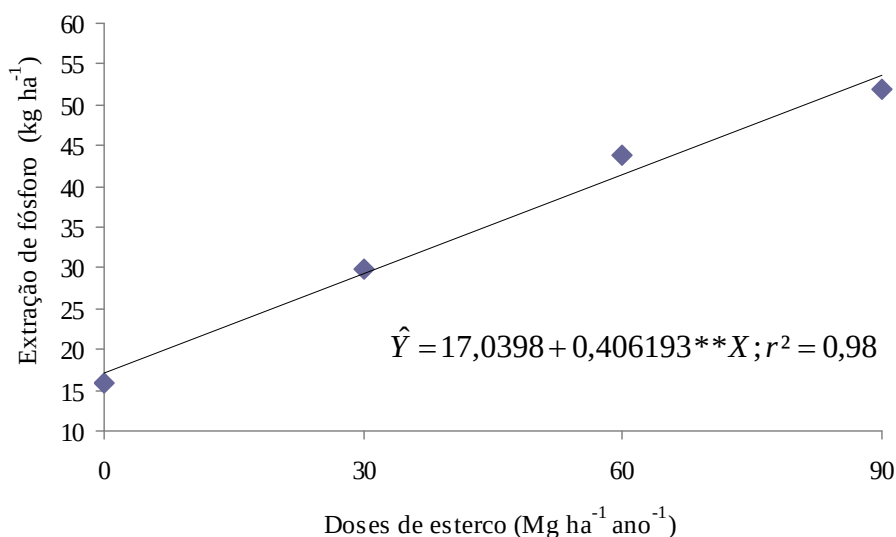


Figura 36. Extração/exportação de fósforo em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

A quantidade de PEE apresentou um crescimento linear em relação às doses de esterco aplicadas ao solo. A maior disponibilidade do nutriente, consequência do esterco bovino aplicado ao solo, promoveu maior extração por parte da planta traduzindo em maior quantidade exportada.

A adição de esterco e de outras fontes orgânicas ao solo reduz a capacidade de adsorção de fósforo, aumenta o teor de fósforo disponível, e proporciona uma maior mobilidade no perfil do solo, de forma orgânicas solúveis de fósforo (Novais et al., 2007). Valores de fósforo muito altos são comuns em solos que receberam grandes aportes de material orgânico, e até em profundidade, devido à maior solubilidade do fósforo orgânico, como no caso de elevados teores de fósforo no solo registrados em Terra Preta de Índios (Lima et al., 2002). Aliado a maior solubilidade e mobilidade do fósforo orgânico (Lima et al., 2002; Novais et al., 2007), o maior aporte no solo, resulta em maior transporte

até as raízes da planta, e, conseqüentemente, maior absorção e extração. Isso é mais evidente para nutrientes de baixa mobilidade no solo, que tem o seu transporte preferencial por difusão, a exemplo do fósforo, pois a força motriz deste tipo de transporte é o gradiente de concentração do elemento entre a rizosfera e as áreas adjacentes a ela (Ernani et al., 2007).

Também concorre para o aumento do fluxo difusivo de nutrientes no solo, a maior porosidade proporcionada pelo aumento da micro e macro fauna do solo, decorrente das altas doses de material orgânico aplicado. Pois, a aplicação de compostos orgânicos ao solo, promove, adicionalmente ao fornecimento de nutrientes, um estímulo a atividade biológica, potencializa a retenção de água e a formação de agregados no solo (Chaoui et al., 2003; Yagi et al., 2003; Nardi et al., 2004; Rivero et al., 2004; Adani & Tambone, 2005; Alvarado, 2003) que resultam em aumento da porosidade.

No tratamento sem a aplicação de esterco, a quantidade extraída/exportada pela palma forrageira foi de 17 kg ha⁻¹. Para a dose 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco o quantitativo foi de 53,6 kg ha⁻¹ de fósforo. Estima-se uma extração/exportação foi de 12,2 kg ha⁻¹ de fósforo para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco aplicado ao solo, segundo o modelo ajustado.

Santos et al. (2002) apresentam dados referentes à extração de fósforo em palma forrageira da ordem de 16 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida, valor inferior ao encontrado no presente trabalho, uma vez que na média o PEE foi de 19,4 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.

Segundo Coelho (2002), a cultura do milho para a produção de silagem pode provocar maior empobrecimento do solo, uma vez que toda a massa produzida é retirada da área. Esse mesmo autor enfatiza que para uma produção de 18,6 Mg ha⁻¹ de matéria seca no milho, o mesmo extrai 26 kg ha⁻¹ de fósforo, enquanto para produzir a mesma quantidade de matéria seca, a palma extraiu 37,5 kg ha⁻¹ de fósforo, o que induz preocupações da mesma natureza do autor supra.

Potássio

A quantidade de potássio extraída/exportada (KEE) pela palma forrageira foi diferente ($P < 0,05$), entre os espaçamentos de plantio utilizados (Tabela 16) e as doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 37), de forma independente.

A média de KEE foi de $714,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Foi encontrada diferença entre os espaçamentos $2,0 \times 0,25 \text{ m}$ e $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$, com maior e menor valor, respectivamente. O espaçamento $1,0 \times 0,5 \text{ m}$ não diferiu de $2,0 \times 0,25 \text{ m}$ e $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$ para extração de potássio.

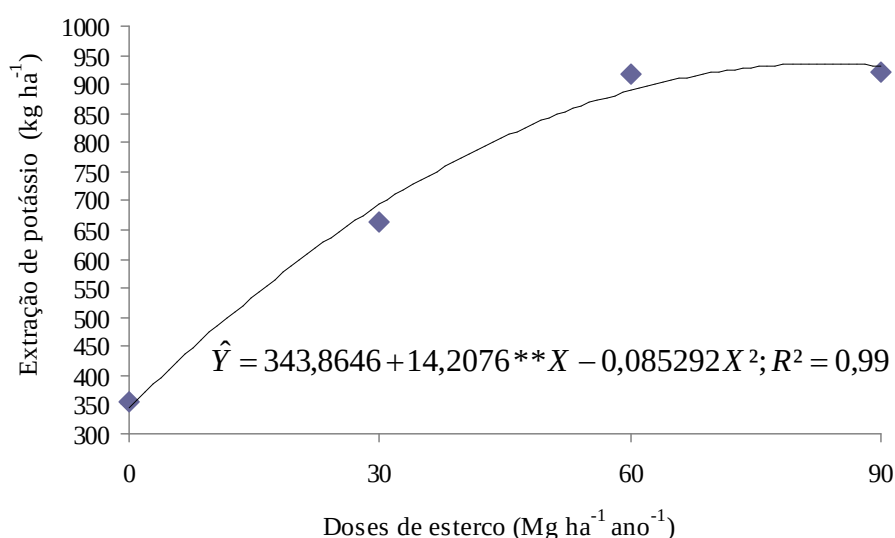


Figura 37. Extração/exportação de potássio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

A extração/exportação de potássio pela palma forrageira apresentou um comportamento quadrático em relação às doses de esterco aplicadas ao solo (Figura 37). O modelo ajustado estima que o ponto de máxima extração/exportação de potássio, de $935,5 \text{ kg ha}^{-1}$ é obtido quando se aplica $83,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco.

Os dados de Santos et al. (2002) ressaltam que o potássio é o elemento mais extraído pela palma forrageira, com 258 kg ha^{-1} para cada 10 Mg ha^{-1} de matéria seca produzida. Os valores aqui encontrados confirmam a maior extração comparada aos demais nutrientes, entretanto, são superiores aos de Santos et al.

(2002) atingindo a média de 394,5 kg ha⁻¹ de potássio para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca.

Cálcio

As quantidades de cálcio extraídas/exportadas (CaEE) pela palma forrageira diferiram significativamente ($P < 0,05$), de forma independente entre espaçamentos (Tabela 16) e doses (Figura 38).

A média de CaEE foi de 547,7 kg ha⁻¹. A média de CaEE foi similar entre os espaçamentos 1,0 x 0,5 m e 2,0 x 0,25 m, que diferiram de 3,0 x 1,0 x 0,25 m.

Os valores encontrados (300,7 kg ha⁻¹) superam os descritos por Santos et al. (2002) de 235 kg ha⁻¹ para cada 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca produzida.

A extração/exportação de cálcio na palma forrageira ocorreu de forma linear ascendente. Segundo o modelo ajustado estima-se que as quantidades extraídas foram de 443,5 kg ha⁻¹ quando não se aplicou esterco e 651,9 kg ha⁻¹ para a dose de 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco. O cálcio é o segundo nutriente mais extraído pela palma forrageira, inferior apenas ao potássio.

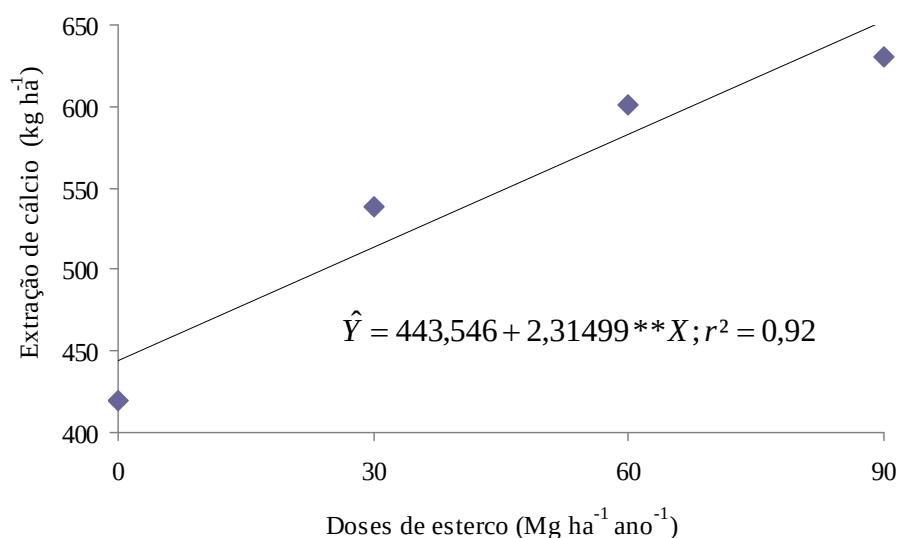


Figura 38. Extração/exportação de cálcio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

De forma geral, para nitrogênio e cálcio, o comportamento da extração/exportação foi semelhante, ou seja, estes nutrientes evidenciaram maior

extração/exportação no espaçamento de fileira simples 1,0 x 0,5 m comparado ao espaçamento de fileira dupla 3,0 x 1,0 x 0,25 m. Contudo, para fósforo e potássio, esse comportamento não seguiu o mesmo padrão. As explicações para estes fatos consideram que nutrientes com transporte preferencial por fluxo de massa, como o nitrogênio e o cálcio, sofrem maior efeito de competição pelas raízes das plantas, com o aumento a população de plantas, ou com o decréscimo da distância entre plantas, enquanto para nutrientes "imóveis", transportados preferencialmente por difusão, como fósforo, a competição é mínima e, ocorre apenas nos casos em que as raízes de duas plantas vizinhas se tocam (Novais & Mello, 2007). O potássio apresenta comportamento intermediário. O seu suprimento até as raízes é principalmente via fluxo de massa, e, por difusão quando a quantidade de nutrientes que chega até as raízes por fluxo de massa e interceptação radicular, é inferior à quantidade absorvida pelas plantas (Ernani et al., 2007).

Magnésio

As quantidades de magnésio extraídas/exportadas (MgEE) pela palma forrageira variaram com os espaçamentos de plantio utilizados (Tabela 17) e com as doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 39) a 5% de probabilidade.

Tabela 17. Quantidade de magnésio (MgEE) extraída/exportada, aos 600 dias após plantio, em cladódios de palma forrageira (kg ha^{-1}) cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco

Espaçamento (m)	Doses de esterco bovino ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)				Média
	0	30	60	90	
	MgEE (kg ha^{-1})				
1,0 x 0,5	122,8 b	197,8 b	329,7 a	264,2 a	228,6
2,0 x 0,25	162,2 a	258,4 a	227,6 b	266,2 a	228,6
3,0 x 1,0 x 0,25	104,2 c	168,4 c	219,5 b	165,3 b	164,3
Média	129,7	208,2	258,9	231,9	207,1
CV (%)	16,4				

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV= coeficiente de variação.

A média de MgEE foi de $207,1 \text{ kg ha}^{-1}$. Quando não se aplicou esterco e na dose de $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ houve diferença para as médias EEMg de palma forrageira cultivada nos três espaçamentos. Na dose de $60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de

esterco o 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m não apresentaram diferença, sendo diferente de 1,0 x 0,5 m. Para a dose de 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco o 1,0 x 0,5 m e 2,0 x 0,25 m não apresentaram diferença, sendo diferente de 3,0 x 1,0 x 0,25 m.

De forma geral, a extração/exportação de magnésio pela palma forrageira foi maior nos espaçamentos em fileira simples comparado ao espaçamento em fileira dupla. Esse resultado assemelha-se ao registrado para nitrogênio e cálcio, como era de se esperar, pois o magnésio também tem o seu transporte no solo predominantemente por fluxo de massa (Novais & Mello, 2007). Contudo houve influência das doses de esterco aplicadas.

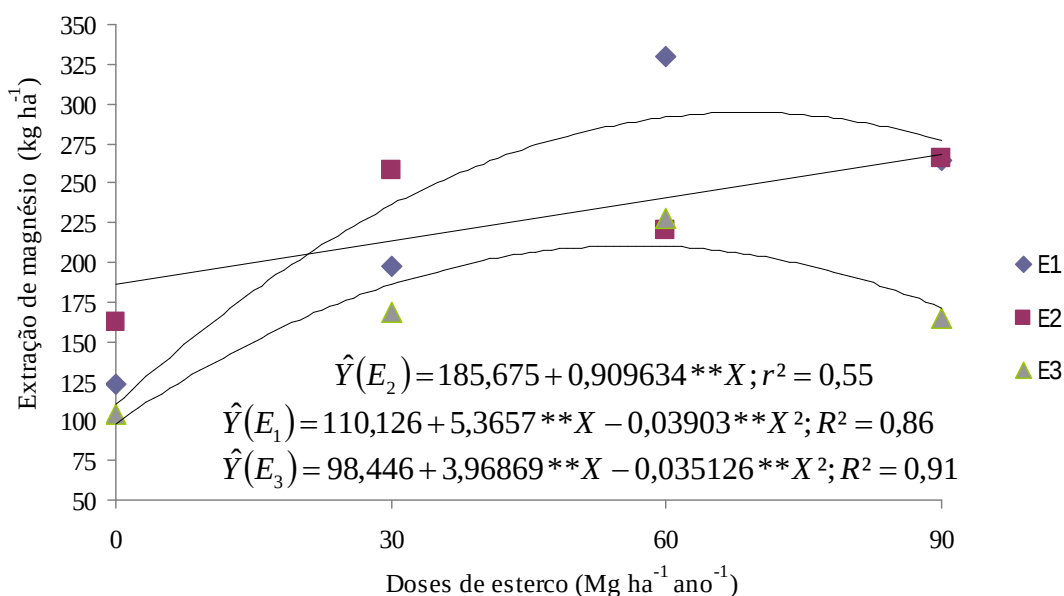


Figura 39. Extração/exportação de magnésio em cladódios da palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino

A extração/exportação de magnésio se comportou de forma quadrática para os espaçamentos de 1,0 x 0,5 m e de 3,0 x 1,0 x 0,25 m, e de forma linear para o espaçamento de 2,0 x 0,25 m. Segundo o modelo ajustado, para o espaçamento 1,0 x 0,5 m estima-se o ponto de máxima extração/exportação quando se aplica 68,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco com extração de 294,5 kg ha⁻¹ de magnésio. Para o 3,0 x 1,0 x 0,25 m, o ponto de máxima é observado com a

aplicação de 56,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco com extração de 210,5 kg ha⁻¹ de magnésio.

Para o 2,0 x 0,25 m o comportamento foi linear ascendente. Estima-se uma extração/exportação de 27,3 kg ha⁻¹ de magnésio para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco aplicado ao solo, segundo o modelo ajustado.

Enxofre

De modo semelhante ao magnésio, as médias das quantidades de enxofre extraídos/exportados (SEE) pela palma forrageira apresentaram interação entre espaçamentos de plantio utilizados (Tabela 18) e doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 40), a 5% de probabilidade.

Tabela 18. Quantidade de enxofre (SEE) extraída/exportada, avaliada aos 600 dias após plantio, em cladódios de palma forrageira (kg ha⁻¹) cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				Média
	0	30	60	90	
	SEE (kg ha ⁻¹)				
1,0 x 0,5	14,6 a	30,8 a	53,3 a	50,2 a	37,2
2,0 x 0,25	19,1 a	38,7 a	38,6 ab	52,7 a	37,3
3,0 x 1,0 x 0,25	11,8 a	26,1 a	37,9 b	30,0 b	26,5
Média	15,2	31,8	43,3	44,3	33,7
CV (%)	21,3				

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV= coeficiente de variação

A média de SEE foi de 33,7 kg ha⁻¹, sendo as maiores quantidades médias de enxofre extraídas/exportadas observadas nos espaçamentos 1,0 x 0,5 m e 2,0 x 0,25 m, 37,2 e 37,3 kg ha⁻¹, respectivamente, e a menor no 3,0 x 1,0 x 0,25 m, 26,5 kg ha⁻¹. A máxima quantidade de SEE (53,3 kg ha⁻¹) foi registrada para a combinação do 1,0 x 0,5 m com a dose de 60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco e a menor no 3,0 x 1,0 x 0,25 m, 11,8 kg ha⁻¹, sem a adição de esterco.

O padrão de extração/exportação de enxofre na palma forrageira sob os diferentes espaçamentos assemelhou-se ao do nitrogênio, cálcio e magnésio, exclusivamente na maior dose de esterco aplicada ao solo, 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Nesta a extração foi maior nos espaçamentos em fileira simples comparado ao espaçamento em fileira dupla, onde há maior competição. Para o enxofre o fluxo

de massa contribui com maior participação no seu transporte até as raízes das plantas, assim como para nitrogênio, magnésio e cálcio, embora o enxofre apresente menor mobilidade no solo comparado àqueles nutrientes (Novais & Mello, 2007).

Na Figura 40 observa-se SEE pela palma forrageira em função das doses de esterco aplicado ao solo aos 600 DAP.

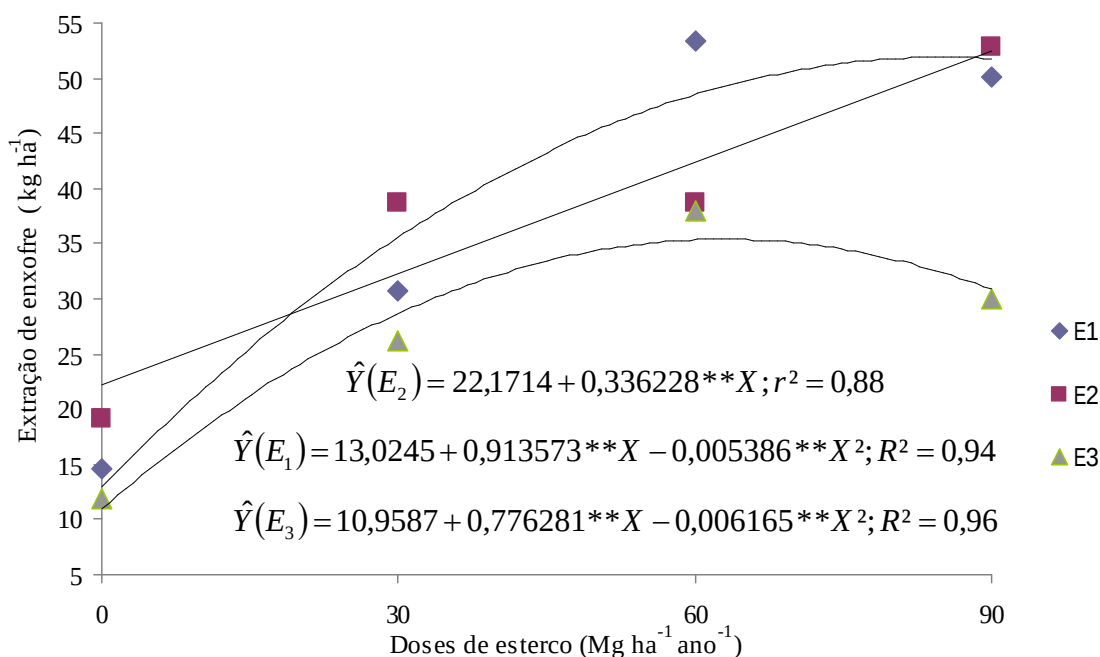


Figura 40. Extração/exportação de enxofre de palma forrageira, aos 600 dias após plantio, cultivada sob diferentes espaçamentos ($E_1 = 1,0 \times 0,5$; $E_2 = 2,0 \times 0,25$ e $E_3 = 3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m) e doses de esterco bovino

A extração/exportação de enxofre variou de forma quadrática (Figura 40) para os espaçamentos de $1,0 \times 0,5$ m e de $3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m, sendo linear para o espaçamento de $2,0 \times 0,25$ m. No modelo ajustado estima-se que no espaçamento $1,0 \times 0,5$ m o ponto de máximo ocorre quando se aplica $85,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco com extração de $51,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de enxofre e o $3,0 \times 1,0 \times 0,25$ m o ponto de máximo é observado com a aplicação de $62,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de esterco com extração de $35,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de enxofre.

Para o espaçamento de $2,0 \times 0,25$ m o comportamento foi linear ascendente, com um incremento de extração/exportação de $10,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de

enxofre para cada 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco aplicada ao solo, segundo o modelo ajustado.

4.4.2. Balanço e extração/exportação de macronutrientes

Dentre os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) extraídos/exportados pela palma forrageira o ordenamento decrescente em relação à quantidade média extraída foi: K, Ca, N, Mg, P e S. Esses dados estão de acordo com os Teles et al. (2004), que trabalhou com palma forrageira em casa de vegetação, avaliando teor nutricional e efeito de nematicida.

Verifica-se que o potássio, cálcio e magnésio apresentam déficit em relação às doses de esterco aplicadas ao solo. Assim, é necessária a adição desses nutrientes ao solo para a manutenção de uma produção elevada e longínqua, uma vez que em nenhuma das doses testadas o esterco é capaz de cobrir o requerimento da palma forrageira. Como o balanço para estes nutrientes se apresenta negativo, é provável que o sistema entre em exaustão, não conseguindo manter uma PMS satisfatória. O balanço de macronutrientes considerou-se apenas os nutrientes aplicados via esterco, não contabilizando os provenientes do solo.

A extração de potássio, cálcio e magnésio foi maior que quantidade de nutriente adicionada via esterco. Os teores médios dos nutrientes no solo antes da implantação do experimento eram: potássio, 111,98 mg dm⁻³, cálcio, 2,01 cmol_c dm⁻³ e magnésio 0,89 cmol_c dm⁻³.

Essa extração foi possível pela capacidade tampão desses nutrientes do solo, ou seja, pelo poder de reposição de nutrientes para a solução, pela reserva da fase sólida do solo (Novais & Mello, 2007). Para cálcio, magnésio e potássio, o solo não constitui dreno e por isso, a planta não sofre concorrência em relação ao solo porque todos esses elementos retidos no complexo de troca irão recompor os nutrientes absorvidos da solução, à medida que estes forem absorvidos pela planta. Isto ocorre porque as ligações desses elementos com as cargas negativas do solo se dá por ligação iônica ou eletrovalente, com muito baixa energia de adsorção (Novais & Mello, 2007).

Na Tabela 19 verifica-se o balanço dos macronutrientes extraídos/exportados pela palma forrageira em relação ao adicionado pelo esterco aos 600 DAP.

Tabela 19. Balanço de nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) em função da extração/exportação média pela palma forrageira e do adicionado ao solo pelo esterco bovino, aos 600 dias após plantio

	Dose (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
	0	30	60	90
Nitrogênio extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	143,9	224,2	293,2	299,1
Nitrogênio adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	259,0	518,0	777,0
Balanço de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	- 143,9	34,8	224,8	477,9
Fósforo extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	15,9	29,3	43,8	51,8
Fósforo adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	234,0	468,0	702,0
Balanço fósforo (kg ha ⁻¹)	- 15,9	204,7	424,2	650,2
Potássio extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	352,3	664,8	917,7	922,2
Potássio adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	124,5	249,0	373,5
Balanço potássio (kg ha ⁻¹)	- 352,3	- 540,3	- 668,7	- 548,7
Cálcio extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	419,8	539,0	601,0	630,0
Cálcio adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	84,6	169,2	253,8
Balanço cálcio (kg ha ⁻¹)	- 419,0	- 454,4	- 431,8	- 376,2
Magnésio extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	129,8	208,2	258,9	231,8
Magnésio adicionado (kg ha ⁻¹)	0	9,9	19,9	29,8
Balanço magnésio (kg ha ⁻¹)	- 129,8	- 198,3	- 239,0	- 201,2
Enxofre extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	15,2	37,1	94,7	162,7
Enxofre adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	114,5	229,0	343,5
Balanço enxofre (kg ha ⁻¹)	- 15,2	77,4	134,3	180,8
Produção de matéria seca (Mg ha ⁻¹)	12,2	17,7	22,3	20,9

4.4.3. Extração/exportação de micronutrientes

Os micronutrientes extraídos/exportados pela palma forrageira boro, cobre, ferro, manganês, sódio e zinco diferiram entre espaçamentos de plantio utilizados, independentemente da dose de esterco aplicada ao solo (Tabela 20) (Figuras 41 a 44).

A quantidade extraída/exportada de boro (BEE) no 2,0 x 0,25 m foi semelhante ao 1,0 x 0,5 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m, sendo o 2,0 x 0,25 m diferente de 3,0 x 1,0 x 0,25 m. Cobre, ferro, manganês, sódio e zinco apresentaram comportamentos semelhantes, sempre com igualdade entre os espaçamentos de fileira simples, 1,0 x 0,5 m e 2,0 x 0,5 m, que diferiram do espaçamento em fileira dupla, 3,0 x 1,0 x 0,5 m.

A extração de boro (Figura 41), cobre (Figura 42), ferro (Figura 43), manganês (Figura 44) e zinco (Figura 45) pela palma forrageira ajustou modelos de regressão linear crescente em resposta às doses de esterco aplicada ao solo.

Tabela 20. Extração/exportação de boro (BEE), cobre (CuEE), ferro (FeEE), manganês (MnEE), sódio (NaEE) e zinco (ZnEE), aos 600 dias após plantio, em cladódios de palma forrageira (kg ha⁻¹) cultivada sob diferentes espaçamentos

Espaçamento (m)	BEE (kg ha ⁻¹)	CuEE (kg ha ⁻¹)	FeEE (kg ha ⁻¹)	MnEE (kg ha ⁻¹)	NaEE (kg ha ⁻¹)	ZnEE (kg ha ⁻¹)
1,0 x 0,5	0,63 a	0,08 a	1,44 a	13,12 a	1,05 a	1,37 a
2,0 x 0,25	0,58 ab	0,08 a	1,46 a	13,82 a	0,89 a	1,24 a
3,0 x 1,0 x 0,25	0,46 b	0,05 b	1,09 b	9,28 b	0,59 b	0,84 b
Média	0,56	0,07	1,33	12,07	0,84	1,15
CV	30,1	30,6	23,7	37,6	23,4	29,1

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV= coeficiente de variação.

Os valores crescentes de extração do boro pela palma forrageira podem ser explicados pelo pH médio do solo de 5,42 (antes do plantio) a 6,0 (após adubação com esterco) e pelas doses crescentes de adubo orgânico. Segundo Dubeux Junior & Santos (2005) o boro é o principal micronutriente para a cultura da palma forrageira, principalmente relacionado ao crescimento da planta. Abreu et al. (2007) relatam que grande parte do boro disponível para as plantas é encontrado na matéria orgânica do solo, ocorrendo uma relação positiva entre esta e o teor de boro extraído. Afirmam também que a extração do boro é dependente do pH do solo, ocorrendo maior disponibilidade na faixa de pH de 5,0 a 7,0.

O sódio (Figura 46) teve comportamento quadrático em relação às doses de esterco aplicadas. O modelo ajustado estima que a máxima extração/exportação de sódio foi de 1,0 g ha⁻¹ para a dose de 63,62 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco.

Nesse trabalho em relação às quantidades extraídas/exportadas os micronutrientes obedeceram a seguinte ordem decrescente: manganês, ferro, zinco, sódio, boro e cobre. Esses dados acordam com os de Teles et al. (2002),

que registra a maior concentração de manganês, ferro, zinco e cobre. O autor não descreveu a concentração de sódio e boro.

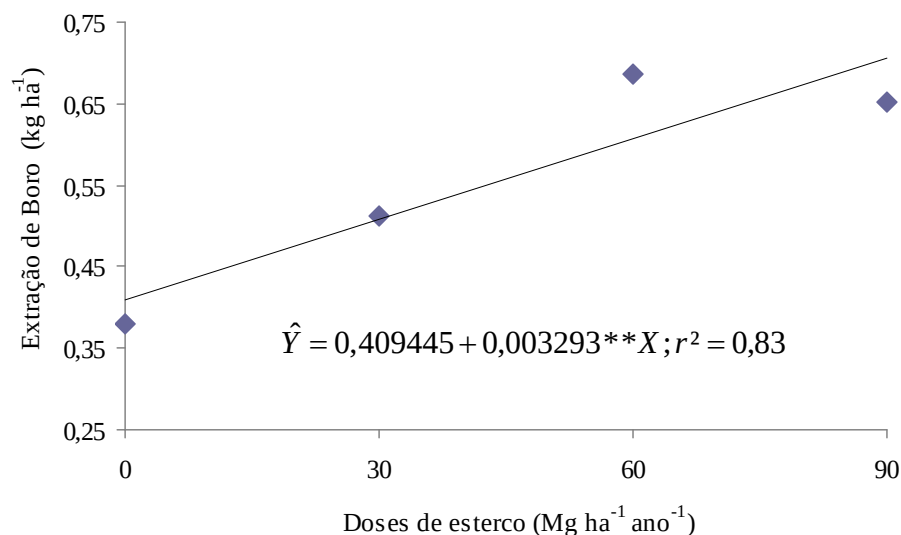


Figura 41. Extração/exportação de boro em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

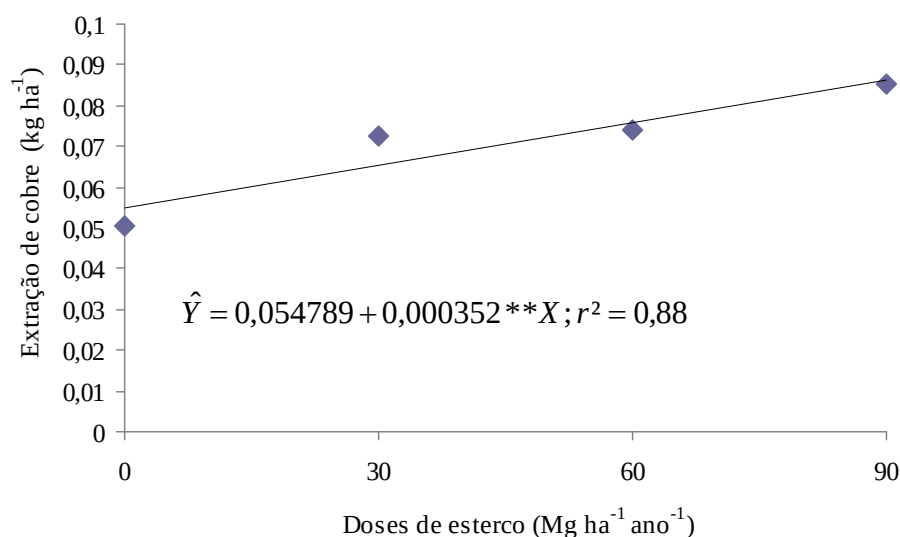


Figura 42. Extração/exportação de cobre em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

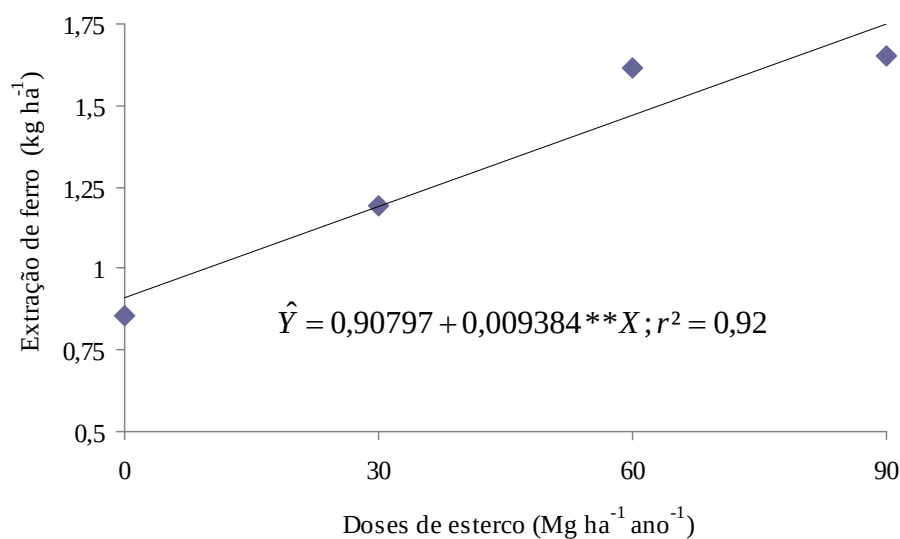


Figura 43. Extração/exportação de ferro em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

Em relação à adubação com esterco nas doses experimentais, o mesmo proporcionou quantidades de micronutrientes capaz de fornecer o que foi extraído pela planta de palma forrageira (Tabela 21).

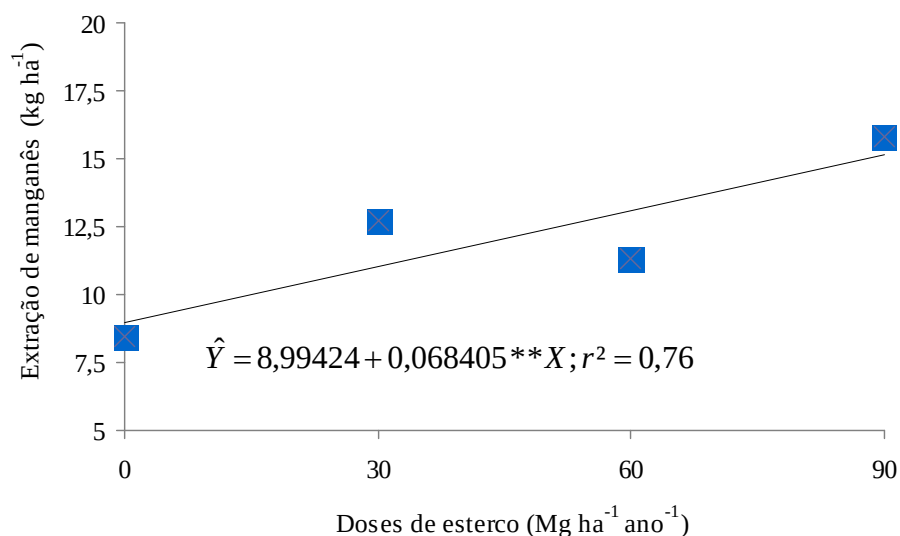


Figura 44. Extração/exportação de manganês em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

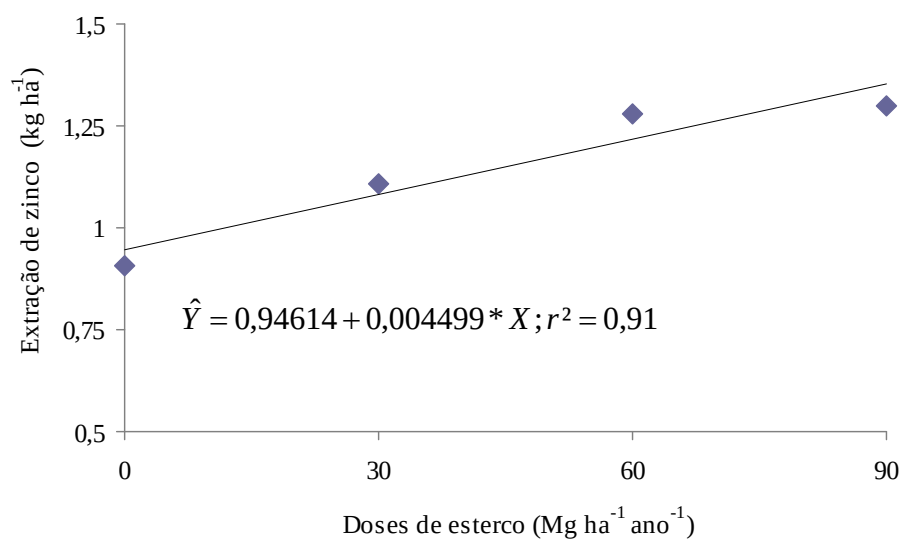


Figura 45. Extração/exportação de zinco em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

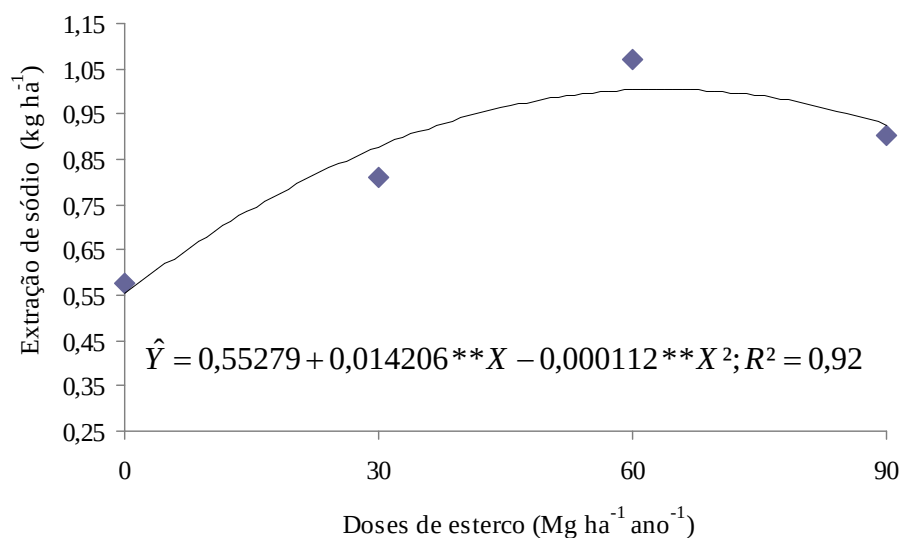


Figura 46. Extração/exportação de sódio em tecido de cladódios de palma forrageira aos 600 dias após o plantio, em função das doses de esterco bovino

Exceção ocorreu para o boro, em que as quantidades extraídas/exportadas foram maiores do que o fornecido pelo esterco em todas as doses experimentais (Tabela 21). Isto sugere a necessidade de adição de boro via outra fonte. Nessa avaliação não se considerou os micronutrientes provenientes do solo. Para o

sódio o balanço não foi quantificado, pois o mesmo não determinado na análise de esterco.

Tabela 21. Balanço de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês, sódio e zinco) em função da extração/exportação média pela palma forrageira e do adicionado ao solo pelo esterco bovino, aos 600 dias após plantio

	Dose (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
	0	30	60	90
Boro extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	0,4	0,5	0,7	0,7
Boro adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	0,1	0,2	0,3
Balanço de boro (kg ha ⁻¹)	- 0,4	- 0,4	- 0,5	- 0,4
Cobre extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	0,1	0,1	0,1	0,1
Cobre adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	2,24	4,48	6,72
Balanço cobre (kg ha ⁻¹)	- 0,1	2,14	4,38	6,62
Ferro extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	0,9	1,2	1,6	1,7
Ferro adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	96,2	192,4	288,6
Balanço ferro (kg ha ⁻¹)	- 0,9	95,0	190,8	286,9
Manganês extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	8,8	12,7	11,3	15,8
Manganês adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	19,5	39,0	58,5
Balanço manganês (kg ha ⁻¹)	- 8,8	6,8	27,7	42,7
Sódio extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	0,6	0,8	1,1	0,9
Sódio adicionado (kg ha ⁻¹)	0	-	-	-
Balanço sódio (kg ha ⁻¹)	- 0,6	-	-	-
Zinco extraído/exportado (kg ha ⁻¹)	0,9	1,1	1,3	1,3
Zinco adicionado (kg ha ⁻¹)	0,0	9,9	19,8	29,7
Balanço zinco (kg ha ⁻¹)	- 0,9	8,8	18,5	28,4
Produção de matéria seca (Mg ha ⁻¹)	12,2	17,7	22,3	20,9

5. CONCLUSÕES

Os espaçamentos de fileiras simples proporcionaram maior rendimento de matéria seca.

Os espaçamentos de plantio não influenciaram a qualidade da forragem de palma.

Os macronutrientes extraídos/exportados em maior quantidade pela palma forrageira foram: K, Ca, N, Mg, P e S; e os micronutrientes: Mn, Fe, Zn, Na, B e Cu, nesta ordem.

O incremento das doses de esterco bovino promoveram uma maior extração de nutrientes e aumentaram os seus teores nos cladódios de palma forrageira.

O incremento das doses de esterco bovino melhoraram a qualidade e aumentaram a produção de forragem pela palma.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. de; LOPES, A.S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.645-733. 2007.
- ADANI, F.; TAMBONE, F. Long-term effect of sewage sludge application on soil humic acids. **Chemosphere**. v. 60, p. 1214-1221, 2005.
- ALBUQUERQUE, A.W.; FILHO, G.M.; SANTOS, J.R. et al. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.153-160, 2005.
- ALBUQUERQUE, S.S.C.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. 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 Zootecnia**, v.31, n.3, p.1315-1324, (suplemento) 2002.
- ALMEIDA, J. **A palma forrageira na Região Semiárida do Estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade**. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas-BA. 95f. 2011.
- ALTIERI, M.A., SILVA, E.N., NICHOLLS, C.I. (Eds.) **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos. 2003. 226p.
- ALVARADO, R.E.V. Uso y manejo del estiércol en la productividad del nopal (*Opuntia* spp.). IN: SOSA, E.S; HERNANDEZ, M.F.; ALARCON, A.V. et al. **Agricultura Organica**. México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. COCyTED. p. 37-60. 2003. 271 p.
- ALVES, R.N.; FARIAS, I.; MENEZES, R.S.C. et al. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. **Revista Caatinga**, v.20, n.4, p.38-44, 2007.
- ANDRADE, D.K.B.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, A.S.C. et al. Digestibilidade e absorção aparentes em vacas da raça holandesa alimentadas com palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2088-2097, 2002.
- ANDRADE, R.L. **Evolução do crescimento da palma forrageira (*Opuntia ficus – indica* Mill) em função do adensamento e adubação com farinha de osso no solo**. Dissertação (Mestrado em zootecnia – Sistemas Agrossilvipastoris) - Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. 40f. 2009.
- ARAÚJO FILHO, J.A.; BARBOSA, T.M.L. Sistemas agrícolas sustentáveis para regiões semiáridas. Embrapa Caprinos, Sobral-CE. **Circular Técnica**, 20. 8p. 1999.
- ARAUJO, A.M. **Interação entre adubação fosfatada e espaçamento no cultivo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) no Estado da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Sistema Agrossilvipastoris no Semi-

- árido) – Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. 67f. 2009.
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T. de T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. Ed. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa-MG. p.253-280. 2006. 432p.
- ARAÚJO, G.G.L.; ALBUQUERQUE, S.G.; GUIMARÃES FILHO, C. [2006] **Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no Semiárido do Nordeste**. Disponível em: <http://www.cpatia.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB886.pdf>. Acesso em: 20/07/2011.
- BALSALOBRE, M.A.A; CORSI, M.; SANTOS, P.M. et al. Composição química e fracionamento do nitrogênio e dos carboidratos do capim-tanzânia irrigado sob três níveis de resíduo pós-pastejo. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.32, n.3, p.519-528, 2003.
- BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em latossolos sob sistemas com pastagens na região do cerrado brasileiro**. Tese Doutorado (Pós-graduação em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. 152f. 2007.
- BUSATO, J.G. **Química do húmus e fertilidade do solo após adição de adubos orgânicos**. Tese de doutorado (Pós-graduação em Produção Vegetal). Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ. 152f. 2008.
- CARVALHO FILHO, O.M.; ARAUJO, G.G.L.; LANGUIDEY, P.H. et al. [2002]. **Palma Forrageira Plantada em Fileiras Adensadas**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteSemiArido/infra/palma.html>>. Acesso em: 04/07/2009.
- CASTRO, O.P.C.M.; RÊGO, M.M.T.; AGUIAR, E.M. et al. Composição bromatológica da silagem de sorgo com níveis crescentes de girassol. **Anais.... V Congresso Nordestino de Produção Animal**. SNPA. Aracaju-SE. 2008.
- CAVALCANTI, C.V.A.; FERREIRA, M.A. CARVALHO, M.C. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno de capim tifton 85 em rações para vacas da raça Holandesa em lactação. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.37, n.4, p.689-693, 2008.
- CHAOUI, H.I.; ZIBILSKA, L.M.; OHNO, T. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. **Soil Biology and Biochemistry**. v.35, p. 295-302, 2003.
- CHIACCHIO, F.P.B.; MESQUITA, A.S.; SANTOS, J.R. Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o Semi-Árido baiano. **Bahia Agrícola**, v.7, n.3. 2006.
- CODEVASF. Companhia de desenvolvimento dos vales do São Francisco e Vale do Parnaíba. **Polígono das secas**. Disponível em:< <http://www.codevasf.gov.br/osvales/vale-do-sao-francisco/poligono-das-secas>>. Acesso em: 02/07/2011.
- CODEVASF. **Dados meteorológicos**. 2ª Superintendência Regional, Núcleo Avançado de Guanambi, Estação Agrometeorológicos de Ceraíma. Disponível

- em: Núcleo Avançado de Guanambi (2ª NGU). Guanambi, Bahia. Consultado em dez. 2007.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E., PITTA, G.V.E. et al. Cultivo do milho: nutrição e adubação do milho. **Comunicado Técnico 44**. EMBRAPA-CNPMS. Sete Lagoas-MG. 12p. 2002.
- CORTÁZAR, V.G; VARNERO, M.T.; ESPINOSA, M. Efecto de bioabono sobre el área fotosintéticamente activa, producción de cladodios y eficiencia de recuperación de N en un cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en el primer año post-plantación. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, p.93-104. 2001.
- COSTA, N.L. **Área foliar e produtividade de forragem** [2010]. Disponível em: <<http://www.clicnews.com.br/impressao.htm?117255>>. Acesso em: 06/07/2011.
- CRUZ, P.G.; CAVALCANTE, A.C.R.; SANTOS, P.M. [2009]. **Palma Forrageira: Alternativa para a estacionalidade de produção de forragem no Semi-Árido brasileiro**. Disponível em: <http://www.beefpoint.com.br/palma-forrageira-alternativa-para-a-estacionalidade-de-producao-de-forragem-no-semiarido-brasileiro_noticia_51651_60_177_.aspx>. Acesso em: 13/07/2009.
- DAMATTO JUNIOR, E.R.; VILLAS BÔAS, R.L.; LEONEL, S. et al. Avaliação nutricional em folhas de bananeira 'Prata Anã' adubadas com composto orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p.109-112. 2006.
- DECHEN, A.R; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. Ed. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa-MG. p.327-354. 2006. 432p.
- DUARTE, L.S. **Determinação das frações protéicas e de carboidratos e estimativa do valor energético e da digestão intestinal da proteína de forrageiras e resíduos gerados no Nordeste Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE. 78f. 2008.
- DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. (eds). **A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 2º ed., Editora Universitária da UFPE. Recife-PE. p.105-128. 2005.
- DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; ARAÚJO FILHO, J.T.; SANTOS, M.V.F. et al. 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.
- DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A. 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.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1999. 412p.
- EMBRAPA/SUDENE. **Levantamento exploratório: reconhecimento dos solos da margem direita do Rio São Francisco**. Estado da Bahia. Recife: EMBRAPA: SNLCS: SUDENE, (Boletim Técnico, 52). v.2. 1.296 p. 1979.

- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Trad. NUNES, M.E.T. Londrina: Editora Planta. 403p. 2006.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. de; SANTOS, F.C. dos. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, L.E.F.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594. 2007.
- FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consorcio com sorgo granífero, no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.341-347. 2000.
- FELKER, P. Produção e utilização de forragem. In: **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. FAO, 1995. SEBRAE-PB. p.147-157. 2001. 216p.
- FERREIRA, M.A.; PESSOA, R.A.S.; SILVA, F.M. Utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: I Congresso Brasileiro de Nutrição Animal. **Anais...** 21 a 24 de setembro de 2008, Fortaleza, Ceará. 2008.
- FERREIRA, C.A.; FERREIRA, R.L.C.; SANTOS, D.C. et al. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1560-1568, 2003a (Supl. 1).
- FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R. et al. Produção de tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.3, p. 468-473, 2003b.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa-MG. 2000. 402p.
- FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P.; TEDESCHI, L.O. et al. **The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion**. New York, Ithaca: Cornell Universit. 2003. 237p.
- FRANCO-SALAZAR, V.A.; VÉLIZ, J.A. Respuestas de la tuna [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] al NaCl. **Interciencia**, v.32, p.125-130, 2007.
- GALIZZI, F.A.; FELKER, P.; GONZÁLEZ, C. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. **Journal of Arid Environments**, v.59, p.115–132. 2004.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ. 2002. 920p.
- GERMANO, R.H.; BARBOSA, H.P.; COSTA, R.G. et al. Avaliação da composição química e mineral de seis cactáceas do Semi-Árido Paraibano. **Agropecuária Técnica**, v.20, n.1, p. 51-57, 1999.
- HENRIQUES, L.T.; COELHO DA SILVA, J.F.; DETMANN, E. Frações de carboidratos de quatro gramíneas tropicais em diferentes idades de corte e doses de adubação nitrogenada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.3, p.730-739, 2007.
- HILLS, F.S. Anatomia e morfologia. **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. FAO, 1995. SEBRAE-PB. p.36-48. 216p. 2001.

- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, RiMa. São Paulo. 2000. 529p.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, n. 5, p.821-832. 2003.
- LEITE, M.L.M.V. **Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia. 186f. 2009.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, n.4, p.347-358, 1996.
- LIMA, G.F.C. Reservas estratégicas de forragem. **Série Circuito de Tecnologias Adaptadas para a Agricultura Familiar**. EMPARN/Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S.A. Natal/Rio Grande do Norte. 83p. 2006.
- LIMA, H.N.; SCHAEFER, C.E.R.; MELLO, J.W.V. et al. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. **Geoderma**, v.110, n. 1, p.1-17, 2002.
- LOPES, E.B.; ALBUQUERQUE, I.C.; BRITO, C.H. et al. Efeito do período de cura de cladódios da palma gigante na emissão de raízes em Neossolo no Município de Lagoa Seca, Paraíba, Brasil. **Revista Engenharia Ambiental**, v.6, n.1, p.231-239. 2009a.
- LOPES, E.B.; BRITO, C.H.; ALBUQUERQUE, I.C. et al. Efeito de formas de plantio na produção de cladódios em Palma doce. **Revista Engenharia Ambiental**, v.6, n.1, p.303-308. 2009b.
- MAGALHÃES, M.C.S.; VÉRAS, A.S.C.; FERREIRA, M.A. et al. Inclusão de cama de frango em dietas à base de palma forrageira (*Opuntia ficusindica* Mill) para vacas mestiças em lactação 1. Consumo e produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1897-1908, (Suplemento 1). 2004.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres Ltda. 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. **Informações Agronômicas**, n.121, 2008.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado Nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York, Academic Press. 1995. 889p.

- MELO, A.A.S.; FERREIRA, M.A.; VERÁS, A.S.C. et al. Desempenho leiteiro de vacas alimentadas com caroço de algodão em dieta à base de palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1165-1171, 2006.
- MELO, A.A.S.; FERREIRA, M.A.; VERÁS, A.S.C. et al. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação.1. Desempenho 1. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.3, p.727-736. 2003.
- MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. et al. Produtividade de palma em propriedades rurais. In: MENEZES, R.S.C; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. (Eds.). **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1ª ed. Recife: Editora da UFPE. p.129-140. 2005.
- MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. Ed. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa-MG. p.281-298. 2006. 432p.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MI. **Relatório final, grupo de trabalho interministerial para redelimitação do Semi-Árido nordestino e do polígono das secas**. Brasília, DF. 118p. 2005.
- MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. Germplasm resources and breeding *opuntia* for fodder production. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C. & PÉREZ-GONZÁLEZ, S. **Cactus (*Opuntia spp*) as forage**. FAO. Romi. p.21-28. 2001.
- MYIASAKA, S.; CAMARGO, O.A. et al. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo**. Fundação Cargill. Campinas-SP. 1984. 44p.
- NARDI, S.; MORARI, F.; BERTI, A. et al. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilizers. **European Journal of Agronom**, v.21, p.357-367, 2004.
- NASCIMENTO, J.P. **Caracterização morfométrica e estimativa da produção de *Opuntia ficus-indica* Mill. sob diferentes arranjos populacionais e doses de fósforo no semi-árido da Paraíba, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. 47f. 2008.
- NOBEL, P.S. Biologia ambiental. In: **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. FAO, 1995. SEBRAE-PB. p.36-48. 216p. 2001.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, L.E.F.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.133-204. 2007.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 472-550. 2007.
- OLIVEIRA JUNIOR, S.; NETO, M.B.; RAMOS, J.P.F. et al. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do

- espaçamento no Semi-Árido Paraibano. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v.3, n.1, p.7-12. 2009.
- PEIXOTO, M.J.A. **Crescimento vegetativo, produção e composição químico-bromatológica da palma forrageira consorciada com cajá (*spondias spp*)**. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE. 71f. 2009.
- PESSOA, R.A.S.; FERREIRA, M.A.; LIMA, L.E. et al. Desempenho de vacas leiteiras submentidas a diferentes estratégias alimentares. **Archivos de Zootecnia**, v.53, n.203, p.309-320, 2004.
- PESSOA, R.A.S.; LEÃO, M.I.; FERREIRA, M.A. et al. Balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira, bagaço de cana-de-açúcar e uréia associados a diferentes suplementos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.5, p.941-947, 2009.
- PINTO, M.S.C.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S. B et al. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39. Recife-PE, 2002. **Anais...** Recife-PE: SBZ, v.1. p.54-64. 2002.
- RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAAGGIO, J.A. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo / Fundação IAC. 1997. 285p.
- RANGEL, A.H.N.; LIMA JUNIOR, D.M.; BRAGA, A.P. et al. Suprimento e demanda de nutrientes em sistemas em não equilíbrio. **Revista Verde**, v.4, n.1, p.14-30. 2009.
- RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J.L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. v.2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.593-643. 2002.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. de, CORREA, G.F. **Pedologia: Bases para Distinção de Ambientes**. 5.ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322 p.:il.
- RIVERO, C., CHIRENJE, T.; MA, L.Q. et al. Influence of composto on soil organic matter under tropical conditions. **Geoderma**. v.123, p.355-361. 2004.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. **Journal of Animal Science**, v 70, p.3551-3561. 1992.
- SAEG. **Sistema para análises estatísticas**. Versão 9.1. CD-ROM. Viçosa: FUNARBE, UFV, 2007. [CD-ROM].
- SALES, A.T.; ANDRADE, A.P.; SILVA, D.S. et al. Potencial de adaptação de variedades de palma forrageira (*opuntia ficus-indica* e *nopalea cochenilifera*) no Cariri Paraibano. IN: IV Congresso Nordeste de Produção Animal. Petrolina – PE, 2006. **Anais....** Petrolina – PE: SNPA, p. 434-438, 2006.
- SAMPAIO, E.V.S.B. Fisiologia da palma. In: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. (eds). **A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento**

- atual e novas perspectivas de uso.** 2º ed., Editora Universitária da UFPE. Recife-PE. p.43-63. 2005.
- SANTOS, D.C.; SANTOS, M.V.F.; FARIAS, I. et al. Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.12-17. 2001.
- SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIRA, M.A. et al. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco: cultivo e utilização.** Recife: IPA, (IPA. Documentos,). 45p. 2002.
- 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. (Eds.). **A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso.** 2º ed., Editora Universitária da UFPE. Recife-PE. p. 27-42. 2005a.
- SANTOS, G.R.P. **Efeito da adubação com chorume animal na fração fibrosa do capim Tifton 85 em diferentes idades de corte.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade de Marília (UNIMAR). Marília – SP. 37f. 2006.
- SANTOS, M.V.F.; FERREIRA, M.A.; BATISTA, A.M.V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. (Eds.). **A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso.** 2º ed., Editora Universitária da UFPE. Recife-PE. p.143-162. 2005b.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** Viçosa, MG: UFV. 3ª edição, 4ª reimpressão. 2009. 235p.
- SILVA, N.G.M. **Avaliação de características morfológicas e comparação de métodos de estimativas de índice de área de cladódio na palma forrageira.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Área de Forragicultura) - Departamento de Zootecnia. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 67f. 2009.
- SILVA, N.G.M.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.11, p.2389-2397. 2010.
- SILVA, P.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 1º edição. EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia. 1999. 370p.
- SILVEIRA, J.O.A.; ALBUQUERQUE, A.C.A. **Cartilha do Caprinocultor.** SEBRAE. João Pessoa - PB. 22p. 2000.
- SNIFFEN, C.J., O'CONNOR, J.D., VAN SOEST, P.J. 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.
- SOUTO, P.C.; SOUTO, J.S. SANTOS, R.V. Decomposição de esterco disposto em diferentes profundidades em área degradada no Semiárido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.29, p.125-130. 2005.

- SOUZA, A.L.; BERNARDINO, F.S.; GARCIA, R. et al. Valor nutritivo de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com diferentes níveis de casca de café. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.828-833, 2003.
- SOUZA, C.M.S.; MEDEIROS, A.N.; FURTADO, D.A. et al. Desempenho de ovelhas nativas em confinamento recebendo palma-forrageira na dieta na região do semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.1146-1153, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª edição. Artmed Editora S. A. p.203 – 242. 2009.
- TELES, M.M.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Efeitos da Adubação e de Nematicida no Crescimento e na Produção da Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.52-60. 2002.
- TELES, M.M.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Efeito da Adubação e do Uso de Nematicida na Composição Química da Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1992-1998, (Suplemento 2). 2004.
- TOSTO, M.S.L.; ARAÚJO, G.G.L.; OLIVEIRA, R.L. et al. 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, p.239-249, 2007.
- VÉRAS, R.M.L.; FERREIRA, M.A.; CAVALCANTI, C.V.A. et al. Substituição do Milho por Farelo de Palma Forrageira em Dietas de Ovinos em Crescimento. Desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.249-256, 2005.
- VIANA, B.L.; LEITE, M.L.M.V.; SILVA, D.S. et al. Influência da adubação organo-mineral no índice de área de cladódio em variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) no semi-árido paraibano. **Anais... Zootec 2008**. João Pessoa-PB. 2008.
- VIEIRA, E.L. **Adição de fibra em dietas contendo palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) para caprinos**. Tese (Doutorado integrado em Zootecnia) Departamento de Zootecnia/Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco. 53f. 2006.
- VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. Ed. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa-MG. p.281-298. 432p. 2006.
- WANDERLEY, W.L.; ANDRADE 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 Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.273-281, 2002.
- YAGI, R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; et al. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. **Scientia Agrícola**. v.60, p.549-557. 2003.

7. ANEXO 1

Tabela 1A. Variáveis bromatológicas em cladódios de palma forrageira com interação não significativa

Variáveis	Espaçamentos			Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				CV	P	r ² /R ²	Equação
	1,0 x 0,5	2,0 x 0,25	3,0 x 1,0 x 0,25	0	30	60	90				
Proteína Bruta	11,01	10,7	10,58	9,56	10,33	11,02	12,15	12,3	0,00334	0,98	Y= 9,49638 + 0,028173X
Carboidratos totais	74,03	72,67	73,51	75,27	74,18	72,56	71,61	2,3	0,00083	0,99	Y= 75,2955 – 0,042116X
Hemicelulose	12,05	12,35	12,47	14,32	12,43	11,40	11,00	16,2	0,00861	0,91	Y= 13,9362 – 0,03664X
NIDN _{NT}	15,12	18,03	16,92	19,23	16,89	16,45	14,20	17,7	0,01497	0,94	Y= 19,0174 – 0,051732X
NIDA _{NT}	12,3 b	14,8 a	13,5 ab	15,87	13,18	13,32	11,84	18,1	0,01678	0,84	Y= 15,3424 – 0,03982X
Cinza	13,2 b	14,9 a	14,2 ab	13,64	13,84	14,66	14,30	7,5	-	-	-
Nitrogênio Total	1,76	1,71	1,69	1,53	1,65	1,76	1,94	12,3	0,00334	0,98	Y= 1,51942 + 0,004508X
B1 + B2 (PB)	50,96	46,96	50,54	45,68	49,98	49,85	52,46	8,9	0,02915	0,86	Y= 46,4645 + 0,067297X
C (PB)	12,3 b	14,8 a	13,5 ab	15,87	13,18	13,32	11,84	18,1	0,01678	0,84	Y= 15,3424 – 0,03982X

Espaços sem números na tabela correspondem a casos não significativos para dose de esterco bovino.

Tabela 1B. Teores de nutrientes em cladódios de palma forrageira com interação não significativa

Variáveis	Espaçamentos			Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				CV	P	r ² /R ²	Equação
	1,0 x 0,5	2,0 x 0,25	3,0 x 1,0 x 0,25	0	30	60	90				
Fósforo	0,17	0,20	0,19	0,13	0,17	0,20	0,25	30,3	0,00109	0,98	0,0127 + 0,001344X
Nitrogênio	1,2 b	1,4 a	1,3 ab	1,18	1,28	1,33	1,44	9,2	0,00147	0,98	Y= 1,18189 + 0,002748X
Potássio	3,2 c	4,3 a	3,9 b	2,89	3,77	4,16	4,45	10,0	0,0000	0,93	Y= 3,05622 + 0,016929X
Enxofre	0,16 b	0,19 a	0,17 ab	0,13	0,18	0,19	0,21	11,7	0,0000	0,89	Y= 0,13711 + 0,000904X
Cálcio	2,8 b	3,4 a	2,9 ab	3,45	3,05	2,68	3,04	15,7	0,02320	0,91	Y= 3,48622 – 0,02431X + 0,000211 X ²
Cobre	4,0 ab	4,4 a	3,3 b	4,26	4,02	3,32	4,01	25,8	-	-	-
Sódio	49,2 a	49,1 a	40,0 b	47,38	45,98	47,69	44,42	17,7	-	-	-
Zinco	63,98	68,17	59,60	73,96	62,34	56,43	62,93	16,4	0,01444	0,98	Y= 74,2977 – 0,583059X + 0,005033 X ²

Espaços sem números na tabela correspondem a casos não significativos para dose de esterco bovino.

Tabela 1C. Variáveis morfométricas em cladódios de palma forrageira com interação não significativa

Variáveis	Espaçamentos			Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				CV	P	r ² /R ²	Equação
	1,0 x 0,5	2,0 x 0,25	3,0 x 1,0 x 0,25	0	30	60	90				
Massa verde	223,06	202,39	152,43	132,67	191,94	224,37	221,52	18,0	0,00003	0,99	Y= 132,246 + 2,5496X – 0,017255X ²
Matéria seca	21,45	18,58	14,73	12,15	17,66	22,30	20,90	18,1	0,0000	0,98	Y= 11,8874 + 0,275944X – 0,001922 X ²
Altura da planta	121,92	115,33	110,29	96,28	111,19	124,50	131,42	7,8	0,0000	0,97	Y= 98,0389 + 0,395741X
Comprimento do cladódio	30,79	31,44	30,75	30,25	30,70	30,47	32,57	5,4	0,02827	0,66	Y= 29,9849 + 0,022465X

Tabela 1D. Extração de nutrientes em cladódios de palma forrageira com interação não significativa

Variáveis	Espaçamentos			Doses de esterco bovino (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				CV	P	r ² /R ²	Equação
	1,0 x 0,5	2,0 x 0,25	3,0 x 1,0 x 0,25	0	30	60	90				
Nitrogênio	269,5 a	260,3 b	190,6 c	143,9	224,2	293,3	299,1	19,7	0,0000	0,90	Y= 159,922 + 1,78245X
Fósforo	40,3 a	37,5 ab	28,2 b	15,9	29,7	43,7	51,8	32,5	0,0000	0,98	Y= 17,0398 + 0,406193X
Potássio	731,6 ab	821,2 a	590,7 b	353,3	664,8	917,7	922,2	20,9	0,0000	0,99	Y= 343,8646 + 14,2076X – 0,085292 X ²
Cálcio	611,9 a	612,9 a	418,3 b	419,8	539,0	601,5	630,5	22,2	0,00649	0,92	Y= 443,546 + 2,31499X
Boro	0,63 a	0,58 ab	0,46 b	0,38	0,51	0,69	0,65	30,0	0,00309	0,83	Y= 0,40944 + 0,00329X
Cobre	0,08 a	0,08 a	0,05 b	0,05	0,07	0,07	0,09	30,5	0,01944	0,88	Y= 0,05478 + 0,000352X
Ferro	1,44 a	146 a	1,09 b	0,86	1,19	1,62	1,65	23,5	0,00004	0,92	Y= 0,90797 + 0,009384X
Manganês	13,12 a	13,82 a	9,28 b	8,49	12,7	11,32	15,79	37,6	0,2010	0,76	Y= 8,99424 + 0,068405X
Sódio	1,05 a	0,89 a	0,59 b	0,57	0,81	1,07	0,90	23,3	0,00024	0,92	Y= 0,55279 + 0,014206X – 0,000112 X ²
Zinco	1,37 a	1,24 a	0,84 b	0,91	1,11	1,28	1,3	29,1	0,07187	0,91	Y= 0,94614 + 0,00499X

