MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

JEAN FARLEY TEIXEIRA ALVES

ESTABELECIMENTO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL
2017

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

JEAN FARLEY TEIXEIRA ALVES

ESTABELECIMENTO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE'

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de Mestre Profissional.

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL

A474e Alves, Jean Farley Teixeira

Estabelecimento de faixas de suficiência para avaliação nutricional da palma forrageira 'Gigante' / Jean Farley Teixeira Alves. -- Guanambi, Ba., 2017.

39 f.: il.

Orientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

Coorientador: Paulo Emilio Rodrigues Donato.

Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi, 2017.

1. Plantas forrageiras. 2. Opuntia. 3. Avaliação nutricional. 4. Adubação. 5. Faixa de suficiência. 4. Semiárido. I. Donato, Sérgio Luiz Rodrigues. II. Donato, Paulo Emilio. III. Título.

CDU: 633.3

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL NO SEMIÁRIDO

ESTABELECIMENTOS DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE'

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de Mestre Profissional.

APROVADA: 21 de junho de 2017

Prof. Dr. Alessandro de M. Arantes
Membro da Banca – IF Baiano

Prof. Dr. João Abel da Silva
Membro da Banca – IF Baiano

Pesq. Dra. Maria G.Vilela Rodrigues
Membro da Banca - EPAMIG

Prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donat
Orientador – IF Baiano

DEDICATÓRIA

Aos meus pais ***Anito*** *(in memorian)* ***e Eldina,*** *que dignamente me apresentaram à importância da família e ao caminho da honestidade e persistência.*

A minha esposa ***Emily*** *e meu filho* ***Enzo Matheus****, por me inspirarem e compreenderem os momentos de ausência,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Sergio Luiz Rodrigues Donato, pela orientação, confiança, paciência e, acima de tudo, pelo exemplo de dedicação e força de vontade. O meu reconhecimento e gratidão pela oportunidade de realizar este trabalho ao lado de alguém que transpira sabedoria e entusiasmo, conduzindo as ações com serenidade e foco, inibindo sempre a vaidade em prol do ensino e da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi, e ao programa do Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, pela honrosa oportunidade de realizar o curso de mestrado.

A todos os membros do programa de Mestrado, em especial ao Coordenador Dr. Carlos Elizio Cotrim e aos professores Carlindo Santos Rodrigues, Marcelo Rocha dos Santos, Marcelo Fialho de Moura, Maria do Socorro Merces Alves Aguiar , Alisson Jadavi Pereira da Silva e Alexsandro dos Santos Brito, sempre disponíveis e atenciosos com nossas demandas.

Ao Professor Dr. Paulo Emilio Rodrigues Donato pela Coorientação.

Aos colegas da primeira turma do primeiro Mestrado do IF Baiano: Alessandre Gabriel, Alynne, Angel, Cleiton, Geovane, Helder, Luzinaldo, Pablo e Varley pela amizade e convivência harmoniosa e por todos os momentos compartilhados.

A todos os servidores do Setor de Agricultura do IF Baiano, em especial ao amigo Ancilon Araújo Silva Junior, pela presteza e atenção dispensada.

Ao Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), na pessoa do Diretor Técnico Dr. Thales Almeida Pereira Fernandes, por entender a importância da capacitação dos servidores e permitir nossa participação nesse programa.

Aos professores Dr. Alessandro de Magalhães Arantes, Dr. João Abel Silva e a pesquisadora da Epamig-MG, Drª Maria Geralda Vilela Rodrigues, pela participação na banca examinadora e valiosa colaboração ao trabalho final.

À professora do curso de agronomia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) Drª. Tiyoko Nair Hojo Rebouças pela importante contribuição na iniciação cientifica durante minha graduação.

Aos amigos Ronaldo Hissayuki Hojo e Ellen Toews Doll Hojo pelos estímulos e por se fazerem sempre presentes nas horas necessárias.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho e para a minha formação profissional.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

JEAN FARLEY TEIXEIRA ALVES, realizou os estudos de primeiro grau no Colégio Estadual Governador Luiz Viana Filho (1994), em Guanambi-BA. É Técnico em Agropecuária formado pela Escola Agrotécnica Federal Antônio José Teixeira (EAFAJT, 1997). Engenheiro Agrônomo graduado pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *Campus* Vitória da Conquista, (2006) . Desde 2007 ingressou no serviço publico pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), onde atua na área de Defesa Fitossanitária. Pós-graduado (*latu sensu)* em Gestão Ambiental e Biodiversidade pelo Centro Mineiro de Ensino Superior – PROMOVE, Belo Horizonte-MG, (2011). Em 2015 iniciou o Mestrado Profissional *Stricto Sensu* em Produção Vegetal no Semi Árido pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, concluindo o curso em junho de 2017.

SUMÁRIO

ARTIGO 1 10
ESTABELECIMENTO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' - MACRONUTRIENTES 10
RESUMO. 11
ABSTRACT 11
INTRODUÇÃO 12
MATERIAL E MÉTODOS 12
RESULTADOS E DISCUSSÃO 15
CONCLUSÕES 21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 22
ARTIGO 2 25
ESTABELECIMENTO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' - MICRONUTRIENTES 25
RESUMO. 26
ABSTRACT. 26
INTRODUÇÃO 27
MATERIAL E MÉTODOS 28
RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
CONCLUSÕES 36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37

RESUMO

ALVES, J. F. T. Estabelecimento de faixas de suficiência para o diagnostico nutricional de palma forrageira 'Gigante' 2017. 56 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – *Campus* Guanambi, Guanambi, 2017.

Objetivou-se estabelecer faixas normais dos macronutrientes e micronutrientes nos tecidos dos cladódios para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante'. Utilizaram-se teores de macro e micronutrientes dos cladódios e produtividades de matéria seca (PMS) de 72 parcelas, de um experimento com quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 Mg ha^{-1} ano^{-1}), três espaçamentos (1,00 x 0,50; 2,00 x 0,25 e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e dois ciclos de produção (600 e 930 dias após o plantio), dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, delineamento em blocos casualizados e três repetições. Determinaram-se faixas de suficiência (FS), média ± o desvio-padrão dos teores dos macronutrientes e dos micronutrientes de parcelas com PMS ≥ 19,93 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$; Chance Matemática (*ChM*) para parcelas com PMS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, equivalente à média mais 0,5 desvio-padrão; e Nível Crítico (NCRIz). As FS, o NCRIz e as *ChM* são, respectivamente, para cada macronutriente, em g kg^{-1}: N, 12,7-18,5; 14,7; 15,5-19,7; P, 1,0-1,8; 1,0; 0,4-1,7; K, 31,6-44,1; 33,1; 33,7-39,7; Ca, 23,2-32,8; 26,2; 25,0-29,6; Mg, 9,5-14,3; 10,5; 7,4-14,0; S, 1,1-2,0; 1,2; 1,0-1,8. As *ChM* são adequadas, mais estreitas e compreendidas nas FS, mas os limites inferiores para P e Mg subestimados. As FS e os NCRIz são adequados à avaliação dos teores de macronutrientes em palma forrageira 'Gigante', com PMS entre 21,8 e 31,2 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$. As FS, o NCRIz e as *ChM* são, respectivamente, para cada micronutriente, em mg kg^{-1}: B, 22,3-32,7; 24,5; 20,36-27,94; Cu, 2,0-3,7; 1,8; 1,8-2,8; Fe, 61,1-126,6; 66,1; 35,8-85,3; Mn, 260,0-507,7; 127,7; 54,8-252,2; Zn, 34,5-57,8; 32,6; 19,7-48,5; e, Na, 29,8-56,2; 22,0; 26,6-42,7. Para B, Zn e Na, a Faixa de Suficiência (FS), a Chance matemática (*ChM*) e o Nível Crítico (NICRIz) são adequados, enquanto para Cu, Fe e Mn, a *ChM* e o NICRIz são mais indicados para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante', associadas à produtividade de matéria seca entre 21,8 e 31,2 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$.

Palavras-chave: *Opuntia*, nutrição, microelementos, macroelementos, produtividade de matéria seca.

ABSTRACT

ALVES, J. F. T. Establishment of sufficiency ranges for nutritional evaluation on the 'Giant' cactus pear 2017. 58 f. Dissertation (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi, Guanambi, 2016.

It's been objected to establish the macronutrients and micronutrients normal ranges in the cladodes tissues to evaluate the 'Giant' cactus pear nutritional status. It was used cladodes macro and micronutrients contents and dry matter yield (PMS) of 72 plots of one experiment with four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha^{-1} $year^{-1}$), three spacings (l.00 x 0.50, 2.00 x 0.25 and 3.00 x 1.00 x 0.25 m) and two production cycles (600 and 930 days after planting), prepared in a 4 x 3 x 2 factorial plan, design in randomized blocks and three repetitions. It was defined sufficiency ranges (FS), average ± standard deviation on macronutrient and micronutrient contents of the plots with PMS ≥ 19.93 mg ha^{-1} $cycle^{-1}$; mathematical chance (ChM) for plots with PMS ≥ 23.75 Mg ha-1 cycle-1, equivalent to the average plus 0.5 standard deviation; critical level (NCRIz). The FS, NCRIz and ChM are, respectively, for each nutrient in mg kg-1: N,12,7-18,5; 14,7; 15,5-19,7; P, 1,0-1,8; 1,0; 0,4-1,7; K, 31,6-44,1; 33,1; 33,7-39,7; Ca, 23,2-32,8; 26,2; 25,0-29,6; Mg, 9,5-14,3; 10,5;7,4-14,0; S, 1,1-2,0; 1,2; 1,0-1,8. The ChM are adequate narrower and understood in FS, but the lower limits for P and Mg are underestimated. The FS and the NCRIz are suitable for the evaluation of macronutrient contents in 'Giant' cactus pear, with PMS between 21.8 and 31.2 Mg ha-1 cycle-1. The FS, NCRIz and ChM are, respectively, for each micronutrient, in mg kg-1: B, 22,3-32,7; 24,5; 20,36-27,94; Cu, 2,0-3,7; 1,8; 1,8-2,8; Fe, 61,1-126,6; 66,1; 35,8-85,3; Mn, 260,0-507,7; 127,7; 54,8-252,2; Zn, 34,5-57,8; 32,6; 19,7-48,5; e, Na, 29,8-56,2; 22,0; 26,6-42,7. For B, Zn and Na, the sufficiency range (FS), mathematical chance (ChM) and critical level (NICRIz) are adequate, while for Cu, Fe and Mn, ChM and NICRIz are more indicated for evaluation of the 'Giant' cactus pear nutritional status, associated with dry substance productivity between 21.8 and 31.2 Mg ha^{-1} $cycle^{-1}$.

Key words: *Opuntia*, nutrition, macroelements, microelements, productivity.

ARTIGO 1

ESTABELECIMENTO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' - MACRONUTRIENTES[1]

[1]Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do Periódico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

Estabelecimento de faixas de suficiência para avaliação nutricional da palma forrageira 'Gigante' - Macronutrientes

RESUMO: Objetivou-se estabelecer faixas normais dos macronutrientes nos tecidos dos cladódios para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante'. Utilizaram-se teores de macronutrientes dos cladódios e produtividades de matéria seca (PMS) de 72 parcelas, de um experimento com quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 Mg ha^{-1} ano^{-1}), três espaçamentos (1,00 x 0,50; 2,00 x 0,25 e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e dois ciclos de produção (600 e 930 dias após o plantio), dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, delineamento em blocos casualizados e três repetições. Determinaram-se faixas de suficiência (FS), média ± o desvio-padrão dos teores dos macronutrientes de parcelas com PMS ≥ 19,93 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$; Chance Matemática (*ChM*) para parcelas com PMS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, equivalente à média mais 0,5 desvio-padrão; e Nível Crítico (NCRIz). As FS, o NCRIz e as *ChM* são, respectivamente, para cada nutriente, em g kg^{-1}: N, 12,7-18,5; 14,4; 15,5-19,7; P, 1,0-1,8; 1,0; 0,4-1,7; K, 31,6-44,1; 31,9; 33,7-39,7; Ca, 23,2-32,8; 24,6; 25,0-29,6; Mg, 9,5-14,3; 10,2; 7,4-14,0; S, 1,1-2,0; 1,1; 1,0-1,8. As *ChM* são adequadas, mais estreitas e compreendidas nas FS, mas os limites inferiores para P e Mg subestimados. As FS e os NCRIz são adequados à avaliação dos teores de macronutrientes em palma forrageira 'Gigante', com PMS entre 21,8 e 31,2 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$.

Palavras-chave: *Opuntia*, adubação, nutrição, produtividade de matéria seca.

Establishment of sufficiency ranges for nutritional evaluation on the 'Giant' cactus pear – Macronutrients

ABSTRACT: It's been objected to establish the macronutrients normal ranges in the cladodes tissues for evaluate the 'Giant' cactus pear nutritional status. It was used cladodes macronutrients contents and dry matter yield (PMS) of 72 plots of one experiment with four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha^{-1} $year^{-1}$), three spacings 0.00 x 0.50, 2.00 x 0.25 and 3.00 x 1.00 x 0.25 m) and two production cycles (600 and 930 days after planting), prepared in a 4 x 3 x 2 factorial plan, design in randomized blocks and three repetitions. It was defined sufficiency ranges (FS), average ± standard deviation on macronutrient contents of the plots with PMS ≥ 19.93 Mg ha^{-1} $cycle^{-1}$; Mathematical Chance (ChM) for plots with PMS ≥ 23.75 Mg ha^{-1} $cycle^{-1}$, equivalent to the average plus 0.5 standard deviation; critical level (NCRIz). The FS, NCRIz and ChM are, respectively, for each nutrient in g kg^{-1}: N, 12.7-18.5; 14.4; 15.5-19.7; P, 1.0-1.8; 1.0; 0.4-1.7; K, 31.6-44.1; 31.9; 33.7-39.7; Ca, 23.2-32.8; 24.6; 25.0-29.6; Mg, 9.5-14.3; 10.2; 7.4 - 14.0; And S, 1.1-2.0; 1,1; 1.0-1.8. The ChM are adequate narrower and understood in FS, but the lower limits for P and Mg are underestimated. The FS and the NCRIz are suitable for the evaluation of macronutrient contents in 'Giant' cactus pear, with PMS between 21.8 and 31.2 Mg ha^{-1} $cycle^{-1}$.

Key words: *Opuntia*, fertilization, nutrition, dry matter yield.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) apresenta adaptações morfofisiológicas às condições estressantes do Semiárido Brasileiro, e, constitui por isso, uma estratégia essencial à produção de forragem para alimentação animal. A despeito da importância e da ampliação de seu cultivo, os sistemas de produção da palma forrageira apresentam baixa adoção de tecnologias, principalmente quanto à adubação adequada, o que colabora para a obtenção de produtividades inferiores ao potencial da cultura (Silva et al., 2012).

Pesquisas com palma forrageira 'Gigante' consideraram doses de adubação orgânica (Donato et al., 2014a), tipos de adubações orgânica, mineral e organomineral (Padilha Júnior et al., 2016) ou química (Silva et al., 2013), constatando influências na extração de nutrientes (Donato et al., 2017; Silva et al., 2016), no crescimento (Donato et al., 2014a), no status nutricional da planta (Galizzi et al., 2004), no valor nutricional da forragem e na produtividade de matéria seca (Silva et al., 2013; Donato et al., 2014b). No entanto, há demanda de estudos para determinação das concentrações ótimas e/ou faixas de suficiência de nutrientes para subsidiar as avaliações do estado nutricional da cultura.

A definição de faixas de suficiência ou de níveis críticos de nutrientes em tecidos vegetais é fundamental ao diagnóstico nutricional. Há diversos métodos, Faixa de Suficiência (Martinez et al., 2003), Chance Matemática (*ChM*), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), Diagnose de Composição Nutricional (CND) e Nível Crítico pela de distribuição normal reduzida (NCRIz) (Camacho et al., 2012).

Determinaram-se faixas de suficiência e níveis críticos de nutrientes para a palma forrageira no México (Blanco-Macías et al., 2010). Contudo, há necessidade de estudos que considerem as interações genótipo-ambiente-manejo nas condições semiáridas da Bahia. Assim, objetivou-se estabelecer as faixas de suficiência dos macronutrientes nos tecidos dos cladódios para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante'.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com palma 'Gigante' foi conduzido em LATOSSOLO Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A fraco, textura média, entre setembro de 2009 e julho de

2012 (Donato et al., 2014a; Barros et al., 2016). A área localiza-se no Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi, Bahia, altitude média 525 m, latitude 14°13'30" sul, longitude 42°46'53"W oeste, com médias anuais de precipitação de 680 mm e temperatura de 26°C.

Utilizaram-se no presente estudo dados básicos de Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017) e Barros et al. (2016): teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), de matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) determinados em amostras coletadas em cladódios recém maduros; as produtividades de massa verde (PMV) e matéria seca (PMS) e a extração de macronutrientes da palma forrageira 'Gigante'.

A descrição da composição do esterco bovino utilizado e dos atributos do solo da área experimental antes do plantio do palmal encontra-se em Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017) e Barros et al. (2016). Nas colheitas do primeiro (Donato et al., 2014a) e segundo ciclos de produção (Barros et al., 2016) preservaram-se três cladódios primários.

Utilizaram-se os teores de macronutrientes dos cladódios e as produtividades de matéria seca (PMS) de 72 parcelas de um experimento com palma forrageira 'Gigante', cuja PMS média era 19,93 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$. Os tratamentos, quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 Mg ha^{-1} ano^{-1}), três espaçamentos (1,00 x 0,50; 2,00 x 0,25 e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e dois ciclos de produção (600 e 930 dias após o plantio), dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Para ajuste das faixas normais pela técnica da faixa de suficiência (*FS*), faixa crítica ou faixa adequada utilizaram-se a média ± o desvio-padrão de cada macronutriente obtida em parcelas com PMS maior ou igual à média, correspondente à 32 parcelas, consideradas de alta produtividade (Martinez et al., 2003). Enquanto para determinação da chance matemática (*ChM*) (Wadt et al., 1998; Camacho et al., 2012), selecionaram-se os dados das parcelas com PMS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, equivalente à média mais 0,5 desvio-padrão, população ou classe com alta PMS.

$FS = \bar{x} \pm kS\bar{x}$; $FS \geq (\bar{x} - kS\bar{x})$ e $< (\bar{x} + kS\bar{x})$; em que: $\bar{x}$, média do teor de cada nutriente nos tecidos dos cladódios; $S\bar{x}$, desvio-padrão da média, raiz quadrada da variância $\sqrt{S}$; k, fator de correção para evitar faixas de suficiência muito amplas. Os valores de k foram fixados em função do coeficiente de variação (CV) de cada

nutriente, conforme Martinez et al. (2003): k = 1,0 para os nutrientes com CV menor que 20%; k = 0,8 para os nutrientes com CV entre 20% e 40%; k = 0,6 para os nutrientes com CV entre 40% e 80%; e k = 0,4 para os nutrientes com CV maior que 80%.

Além da FS, os teores dos macronutrientes nos cladódios de palma forrageira 'Gigante' foram estratificados em classes deficiente (*DEF*), marginal (*MARG*), alto (*ALT*), muito alto (*MALT*), conforme o procedimento: $DEF < (\bar{x} - 2kS\bar{x})$; $MARG \geq (\bar{x} - 2kS\bar{x}) e < (\bar{x} - kS\bar{x})$; $ALT \geq (x\text{+kS}\bar{x})\ e < (\bar{x} + 2kSx)$; $MALT \geq (\bar{x} + 2kS\bar{x})$.

Estimaram-se intervalos de confiança (*IC*) para as classes de interpretação dos teores de macronutrientes nos cladódios, $IC = \bar{x} \pm t\alpha . S\bar{x}$; em que: $\bar{x}$, média; $S\bar{x}$, desvio-padrão da média; $t\alpha$, valor de t bilateral a 10% de probabilidade, com n-1 número de parcelas de alta produtividade. Intervalos de confiança negativos foram substituídos por zero.

Utilizaram-se para determinar os níveis críticos dos macronutrientes nos cladódios da palma forrageira 'Gigante' o método do Nível Crítico pela distribuição normal reduzida (NCRIz) proposta por Maia et al. (2001). $NC_i = (1{,}281552S\bar{x}_1 + \bar{x}_1)/(1{,}281552S\bar{x}_2 + \bar{x}_2)$**;** em que: NC_i, Nível Crítico; $S\bar{x}_1$ e $\bar{x}_1$, desvio-padrão e média da produtividade (P); $S\bar{x}_2$ e $\bar{x}_2$**,** desvio-padrão e média de (Q), que é definido como a relação entre P e n_i, $Q = \frac{P}{n_i}$; em que n_i, teor do nutriente, o qual se pretende determinar o nível crítico.

Para determinação da chance matemática (*ChM*) (Wadt et al., 1998; Camacho et al., 2012), os teores nos cladódios de cada macronutriente foram ordenados e distribuídos em um número de classes definido pela raiz quadrada do número de observações. Os intervalos de cada classe foram obtidos pela divisão entre a amplitude dos teores do nutriente e o número de classes estabelecidas, calculando-se a chance matemática (ChM_i), pela equação $ChM_i = (ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) \times (ChM(\frac{A_i}{C_i}))^{0,5}$; em que $ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) = P\left(\frac{A_i}{A}\right) \times PROD_i$; $P\left(\frac{A_i}{A}\right)$= frequência de parcelas com alta produtividade na classe *i* em relação ao total geral de parcelas com alta produtividade; $PROD_i$, produtividade média na classe *i* (Mg ha^{-1} ano^{-1}); $ChM\left(\frac{A_i}{C_i}\right) = P(\frac{A_i}{C_i}) \times PROD_i$; e $P(\frac{A_i}{C_i})$= frequência de parcelas com alta produtividade na classe *i* em relação ao total geral de parcelas com alta produtividade na classe *i*.

As faixas normais para cada macronutriente foram compreendidas entre os limites inferiores (LIi) e superiores (LSi) das classes de teores de nutrientes com maiores *ChM*. Consideraram-se ainda a maior frequência de total de parcelas na classe *i* e a maior frequência de parcelas com produtividade de MS $\geq$ 23,75 Mg ha^{-1} ciclo^{-1} na classe *i*.

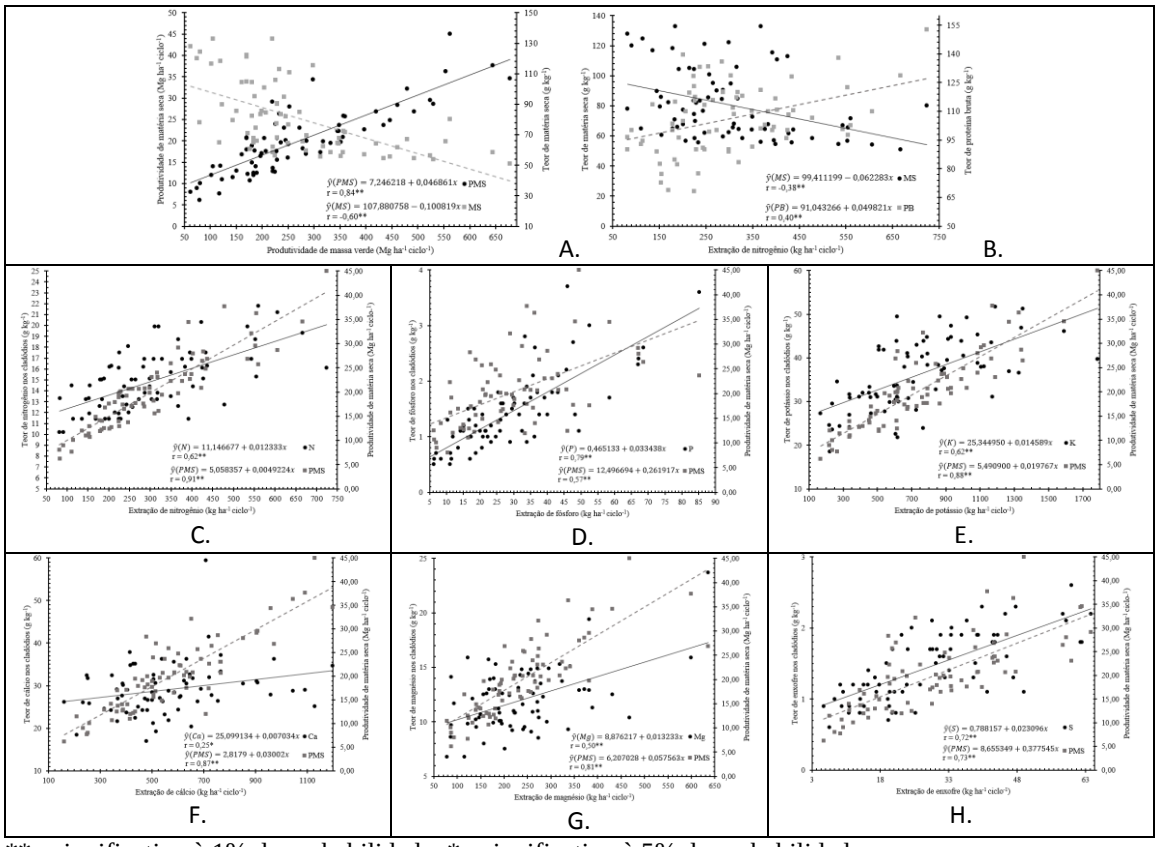
Estimaram-se ainda correlações entre teores de macronutrientes nos tecidos dos cladódios e PMS com extração dos macronutrientes e com produtividade de massa verde.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de matéria seca da palma forrageira 'Gigante' decresce de forma linear com produtividade de massa verde, PMV (Figura 1A) e extração de nitrogênio (Figura 1B). Enquanto a produtividade de matéria seca, PMS (Figura 1A) e o teor de proteína bruta, PB (Figura 1B) aumentam.

As correlações positivas e significativas entre teores de macronutrientes nos cladódios e produtividade de MS da palma forrageira 'Gigante' com extração dos respectivos nutrientes do solo (Figura 1C, D, E, F, G, H) possibilitaram estabelecer faixas de suficiência (Tabelas 1, 3), para avaliação do estado nutricional dessa forrageira. Essas FS são associadas às produtividades de MS de 21,8 à 31,2 Mg ha^{-1} ciclo^{-1}, pois a produtividade da palma forrageira, como de qualquer cultura está relacionada à disponibilidade de nutrientes e sua consequente extração do solo (Donato et al., 2017). Correlações positivas e significativas entre teores de nutrientes nos cladódios e nos solos foram estabelecidas para Ca e pH; K com P e K; Mg com P e Ca; N com K e Mg; e P com Mg; e negativas de K com Ca; e S com carbono orgânico (Galizzi et al., 2004).

A FS proposta (Blanco-Macías et al., 2010) para *Opuntia fícus-indica* é próxima para N (8,4-20,3 g kg^{-1}), o dobro para P (2,4-4,2 g kg^{-1}), maior para K (38,2-50,8 g kg^{-1}) e para Ca e Mg, os limites inferiores coincidem com os superiores deste trabalho. Quanto aos níveis críticos, é similar para N, três vezes maior para P e uma vez e meia maior para K, Ca e Mg. Entretanto, os autores utilizaram solo com o dobro de matéria orgânica e K, duas vezes e meia, 11 e cinco vezes mais P, Ca e Mg, respectivamente. Isso justifica as diferenças, pois o nível crítico de qualquer elemento no solo e na planta é variável com a sua disponibilidade e com a capacidade máxima de adsorção do solo (Novais et al., 2007).



**r, significativo à 1% de probabilidade; *r, significativo à 5% de probabilidade

Figura 1. Correlações entre produtividade e teor de matéria seca com produtividade de massa verde (A); teor de matéria seca e de proteína bruta com extração/exportação de nitrogênio (B); teores de macronutrientes nos tecidos dos cladódios e produtividade de matéria seca, com extração/exportação dos respectivos macronutrientes pela palma forrageira 'Gigante' adubada com diferentes doses de esterco bovino, em dois ciclos de produção. C – nitrogênio, D – fósforo, E – potássio, F - cálcio, G – magnésio e, H – enxofre.
Fonte: dados básicos, Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017); Barros et al. (2016)

Adicionalmente à maior disponibilidade de nutrientes no solo, fatores não nutricionais afetam a produtividade (Martinez et al., 2003). Por exemplo, temperaturas amenas, até 25/15 ºC dia/noite favorecem a captação atmosférica diária de CO_2 (Nobel, 2001) e a produtividade (Santos et al., 2013). Blanco-Macías et al. (2010) trabalharam no México, altitude 2.296 m, temperatura média anual entre 12 e 18 ºC, enquanto no presente trabalho a altitude é 525 m e a temperatura média anual 26°C. A PMV média para 10.000 plantas ha^{-1} foi 330 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, com variação de 60 à 920 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$ entre as parcelas, enquanto no presente trabalho 20.000 plantas ha^{-1} (Donato et al., 2014a, b; Barros et al., 2016) a PMV média foi 270,63 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, com variação de

62,41 à 677,25 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, e a PMS associada à PMV (Figura 1A) variou de 6,17 à 44,96 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$.

Tabela 1. Valores dos teores de proteína bruta (PB) e macronutrientes nos tecidos dos cladódios associados à produtividade de matéria seca (PMS), para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante' pela técnica da faixa de suficiência

Atributos	PMS	PB	N	P	K	Ca	Mg	S
Classes	(Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$)				(g kg^{-1})			
Deficiente	<17,0	<80,3	<9,9	<0,6	<25,3	<18,3	<7,0	<0,7
Marginal	17,0-21,8	80,3-95,1	9,9-12,7	0,6-1,0	25,3-31,6	18,3- 23,2	7,0-9,5	0,7-1,1
Suficiente	21,8-31,2	95,1-124,8	12,7-18,5	1,0-1,8	31,6-44,1	23,2-32,8	9,5-14,3	1,1-2,0
Bom (alta)	31,2-36,0	124,8-139,7	18,5-21,3	1,8-2,2	44,1-50,4	32,8-37,6	14,3-16,7	2,0-2,3
Muito bom (muito alta)	≥36,0	≥139,7	≥21,3	≥2,2	≥50,4	≥37,6	≥16,7	≥2,3
Média	19,93	106,09	14,87	1,41	36,00	29,11	12,03	1,4
Desvio Padrão	7,64	17,60	2,78	0,71	7,92	0,47	6,09	2,82
CV[1] (%)	38,34	16,59	18,73	50,13	21,99	32,09	20,92	23,44
IC[2]	16,5-36,5	84,8-135,2	10,0-20,5	0,3-2,6	24,6-51,8	18,0-37,0	6,7-16,9	0,7-2,4

[1]Coeficiente de variação; [2]Intervalo de confiança dos teores de proteína bruta e macronutrientes em tecidos de cladódios de palma forrageira 'Gigante' adubada com diferentes doses de esterco bovino, em dois ciclos de produção.

O maior valor de *ChM* para o teor de proteína bruta em cladódios de palma forrageira 'Gigante' associado à produtividade de matéria seca maior ou igual a 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$ foi observado na classe 4 (101,7-114,4 g kg^{-1}) (Tabela 2). Esses valores estão compreendidos na FS, e o NCRIz (111,2 g kg^{-1}) coincide com a metade do intervalo dessa faixa (Tabela 3). O teor de PB do NCRIz é alcançado com de 55,4 Mg ha^{-1} de esterco bovino (Donato et al., 2014b) e 60,0 Mg ha^{-1} (Barros et al., 2016), ou com adubação química (Silva et al., 2013) da ordem de 200-150-100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N-P_2O_5-K_2O.

Tabela 2. Valores de chance matemática (*ChM*)[1] estabelecidos para classes de teores de macronutrientes e proteína bruta em tecidos de cladódios de palma forrageira 'Gigante' adubada com diferentes doses de esterco bovino, em dois ciclos de produção

Classes	LIi[2] (g kg^{-1})	LSi[3] (g kg^{-1})	PRODi[4] (Mg ha^{-1} ciclo^{-1})	Parcela classe i[5]	Parcelas alta PMS classe i[6]	P1[7]	P2[8]	*ChM*(Ai/A)[9]	*ChM*(Ai/ci)[10]	*ChM*[11] (Mg ha^{-1})
Proteína Bruta										
1	139,89	152,61	44,96	1	1	0,06	1,00	2,50	44,96	10,60
2	127,16	139,88	27,30	4	3	0,17	0,75	4,55	20,47	9,65
3	114,43	127,15	25,02	6	3	0,17	0,50	4,17	12,51	7,22
4	101,69	114,42	26,59	10	6	0,33	0,60	8,86	15,96	11,89
5	88,96	101,68	25,34	11	5	0,28	0,45	7,04	11,52	9,00
Nitrogênio										
1	19,72	21,80	25,50	4	3	0,17	0,75	4,25	19,13	9,02
2	17,63	19,71	32,06	2	2	0,11	1,00	3,56	32,06	10,69
3	15,54	17,62	26,95	10	5	0,28	0,50	7,49	13,48	10,05
4	13,45	15,53	26,15	7	4	0,22	0,57	5,81	14,94	9,32
5	11,36	13,44	25,58	9	4	0,22	0,44	5,69	11,37	8,04
Fósforo										
1	2,98	3,60	23,66	1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2,35	2,97	27,18	2	2	0,11	1,00	3,02	27,18	9,06
3	1,72	2,34	23,03	6	2	0,11	0,33	2,56	7,68	4,43
4	1,09	1,71	27,48	12	6	0,33	0,50	9,16	13,74	11,22
5	0,46	1,08	27,55	11	8	0,44	0,73	12,24	20,03	15,66
Potássio										
1	45,72	51,70	26,66	5	3	0,17	0,60	4,44	16,00	8,43
2	39,73	45,71	23,27	6	3	0,17	0,50	3,88	11,63	6,72
3	33,74	39,72	28,02	12	6	0,33	0,50	9,34	14,01	11,44
4	27,75	33,73	25,41	6	3	0,17	0,50	4,23	12,70	7,33
5	21,76	27,74	29,10	3	3	0,17	1,00	4,85	29,10	11,88
Cálcio										
1	33,14	37,20	25,61	5	2	0,11	0,40	2,85	10,24	5,40
2	29,07	33,13	24,33	8	3	0,17	0,38	4,06	9,13	6,08
3	25,00	29,06	28,38	12	5	0,28	0,42	7,88	11,83	9,66
4	20,93	24,99	24,57	4	3	0,17	0,75	4,10	18,43	8,69
5	16,86	20,92	29,10	3	3	0,17	1,00	4,85	29,10	11,88
Magnésio										
1	1	20,46	23,70	28,61	1	1	0,06	1,00	1,59	28,61
2	2	17,21	20,45	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
3	3	13,96	17,20	25,85	4	1	0,06	0,25	1,44	6,46
4	4	10,71	13,95	24,82	16	7	0,39	0,44	9,65	10,86
5	5	7,46	10,70	29,24	11	9	0,50	0,82	14,62	23,92
Enxofre										
1	2,22	2,60	21,89	2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,83	2,21	23,54	9	3	0,17	0,33	3,92	7,85	5,55
3	1,44	1,82	27,25	8	6	0,33	0,75	9,08	20,44	13,63
4	1,05	1,43	30,00	8	5	0,28	0,63	8,33	18,75	12,50
5	0,66	1,04	27,05	5	4	0,22	0,80	6,01	21,64	11,41

[1]Wadt et al. (1998), Camacho et al. (2012); [2]Limite inferior da classe i; [3]Limite superior da classe i; [4]Produtividade média de matéria seca (PMS, Mg ha^{-1} ano^{-1}) das parcelas na classe i; [5]Total de parcelas na classe i; [6]Total de parcelas com alta PMS na classe i, PMS $\geq$ 23,75 Mg ha^{-1} ano^{-1}, correspondente à PMS Média + 0,5 Desvio-padrão; [7]Frequência de parcelas de alta produtividade na classe i em relação ao total de parcelas de alta produtividade; [7]Frequência de parcelas de alta produtividade na classe i em relação ao total de parcelas na classe i; [9]$ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) = P\left(\frac{A_i}{A}\right) \times PROD_i$;[10]$ChM\left(\frac{A_i}{C_i}\right) = P(\frac{A_i}{C_i}) \times PROD_i$;[11]$ChM_i = (ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) \times (ChM(\frac{A_i}{C_i}))^{0,5}$.

As maiores *ChM* para N em cladódios de palma forrageira 'Gigante' situam nas classes 2 e 3 (15,5-19,7 g kg^{-1}) (Tabela 2). O limite inferior (LIi) da *ChM* corresponde à

metade da FS (15,5 g kg^{-1}) e aproxima do NCRIz (14,4 g kg^{-1}), enquanto os limites superiores da *ChM* e FS são próximos (Tabela 3). A *ChM*, a FS e o NCRiz para N, terceiro nutriente mais extraído/exportado pela palma forrageira na MS, 13,2 kg Mg^{-1} (Donato et al., 2017) concordam com Blanco-Macías et al. (2010). Teores de N acima da FS (2,20 g kg^{-1}) foram obtidos por Silva et al. (2012) com 200-150-100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N-P_2O_5-K_2O.

Para P os maiores valores de *ChM* foram observados nas classes 4 e 5 (0,4-1,7 g kg^{-1}) (Tabela 2). O LSi da *ChM* é próximo ao da FS, embora o LIi, bem mais baixo, coincide com o NCRIz (1,0 g kg^{-1}) (Tabela 3), sendo três vezes menor que o obtido em solo com elevado teor de P, 40,5 mg dm^{-3} (Blanco-Macías et al., 2010). Assim, considera-se a FS mais adequada à avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante' para P que a *ChM*, por este método apresentar baixo LIi, classe deficiente (Tabela 1).

Tabela 3. Faixas normais de proteína bruta (PB) e macronutrientes em tecidos de cladódios de palma forrageira 'Gigante' obtidas pela técnica da faixa de suficiência (FS), pelos métodos da chance matemática (*ChM*) e nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida (NCRIz), associadas à produtividade de matéria seca (PMS)

Atributos		Faixas						
	PMS[1]	PB[2]	N	P	K	Ca	Mg	S
Métodos	(Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$)	(g kg^{-1})						
Faixa suficiência	21,8-31,2[1]	95,1-124,8	12,7-18,5	1,0-1,8	31,6-44,1	23,2-32,8	9,5-14,3	1,1-2,0
ChM[2]	>23,75	101,7-114,4	15,5-19,7	0,4-1,7	33,7-39,7	25,0-29,6	7,4-14,0	1,0-1,8
NCRIz[3]	23,75[4]	111,1	14,4	1,0	31,9	24,6	10,2	1,1
FS Literatura[5]	-	-	8,4-20,3	2,4-4,2	38,2-50,8	31,8-45,2	14,3-20,9	-
NC Literatura[5]	-	-	13,1	3,2	44,4	38,1	17,3	-

[1]Faixa de produtividade de matéria seca associada às faixas normais de PB e macronutrientes; [2]Estimada a partir dos limites inferior e superior das classes de frequência com maiores valores de chance matemática (Wadt et al. ,1998; Camacho et al., 2012), maior frequência de total de parcelas na classe *i* e maior frequência de parcelas com produtividade elevada na classe *i*; [3]Conforme Maia et al. (2001); [4]PMS Média + 0,5 Desvio-padrão, utilizada para separar parcelas de alta e baixa produtividade; [5]Faixa de suficiência e Nível Crítico (Blanco-Macías et al., 2010).

Teores de P nos cladódios de palma 'Gigante' na FS (1,2 g kg^{-1}) foram registrados por Silva et al. (2012) em solos com 10,6 mg dm^{-3} de P e aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5, e abaixo da FS (0,8 g kg^{-1}), sem adubação. Isso corrobora Menezes et al. (2005) e Dubeux Júnior et al. (2010) que afirmam ser 10 mg dm^{-3} o nível crítico de P no solo para palma, embora o nível crítico varie com o solo (Novais et al., 2007).

Por outro lado, Donato et al. (2016) em solos com 16,3 mg dm^{-3} de P constataram teores de P na FS, 1,3 g kg^{-1} e 1,7 g kg^{-1}, sem e com aplicação de 30 Mg ha^{-1} de esterco, respectivamente, e acima da FS, 2,0 g kg^{-1} e 2,5 g kg^{-1} com aplicação de 60 e 90 Mg ha^{-}

[1]. Esses maiores teores de P com adição de esterco comparada a aplicações de fertilizante químico (Silva et al., 2012), que ocorre mesmo para doses semelhantes de P, decorrem da redução da capacidade de adsorção de fósforo (Novais et al., 2007), comprovada pelo incremento do fósforo remanescente, P-rem, de 41,8 para 45 mg dm^{-3}, com 0 e 90 Mg ha^{-1} de esterco bovino. Essa maior disponibilidade de P no solo eleva o teor de P nos tecidos dos cladódios para além da FS, o que pode caracterizar consumo de luxo, pois o P é um macronutriente de baixa exportação na MS pela palma 2,1 kg Mg^{-1} (Donato et al., 2017) e de baixa resposta à aplicação (Menezes et al., 2005; Dubeux Júnior et al., 2010).

Embora a maior *ChM* para K e Ca em cladódios de palma forrageira 'Gigante' situe na classe 5, consideraram-se para a faixa normal, a maior *ChM* associada à maior frequência de parcelas na classe *i* e a maior frequência de parcelas com PMS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$ na classe *i*, pois K e Ca, são os macronutrientes mais extraídos/exportados pela palma na MS, 42,4 e 28,0 kg Mg^{-1}, nesta ordem (Donato et al., 2017). Dessa forma, as faixas normais pela *ChM* situam-se na classe 3, para K (33,7-39,7 g kg^{-1}) e para Ca (25,0-29,6 g kg^{-1}) (Tabela 2). Para ambos, os limites da *ChM* estão compreendidos na FS e os NCRIz coincidem com os Lis da FS, 31 g kg^{-1} para K e 24 g kg^{-1} para Ca (Tabela 3).

Adubação química com 200-150-100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N-P_2O_5-K_2O propiciou 27,5 g kg^{-1} K em cladódios de palma forrageira 'Gigante' (Silva et al., 2012), inferior à FS e à *ChM*. Isso é compatível, pois o suprimento é baixo comparado à exigência em K, com magnitude de até 924,2 kg ha^{-1} para 21,8 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$ de MS (Donato et al., 2017).

Como adotado para K e C, embora a maior *ChM* para Mg tenha ocorrido na classe 5, consideraram-se o maior valor da *ChM* associado à maior frequência de total de parcelas na classe *i* e a maior frequência de parcelas com PMS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$ na classe *i*, pois o Mg é o quarto macronutriente mais extraído/exportado pela palma forrageira na MS, 11,4 kg Mg^{-1} (Donato et al., 2017). Assim, as maiores *ChM* para Mg situam nas classes 4 e 5 (7,4-14,0 g kg^{-1}) (Tabela 2). Os limites da *ChM* estão compreendidos na FS, sendo LSi o mesmo para os dois métodos (14,0 g kg^{-1}) e o NICRIz intermediário.

As maiores *ChM* para S situam nas classes 3 e 4 (1,0-1,8 g kg^{-1}) (Tabela 2). Os LIi e LSi da *ChM* são próximos aos da FS e o NCRIz intermediário aos intervalos de ambos (Tabela 3). Teores de S em cladódios de palma 'Gigante', na faixa de suficiência, 1,2 g kg^{-1} e 1,5 g kg^{-1} foram constatados por Silva et al. (2012), sem adubação e com 150 kg

ha^{-1} de P_2O_5, e acima da FS, 5,6 g kg^{-1}, com 200-150-100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N-P_2O_5-K_2O com superfosfato simples e sulfato de amônio, fontes de S. Resultados explicáveis, pois o S é de baixa extração/exportação na MS, 1,9 kg Mg^{-1} (Donato et al., 2017).

CONCLUSÕES

As chances matemáticas (*ChM*) são adequadas, mais estreitas e compreendidas nas faixas de suficiência (FS), mas os limites inferiores para P e Mg são subestimados.

As FS e os níveis críticos (NCRIz) propostos são adequados à avaliação dos teores de macronutrientes em palma forrageira 'Gigante', com produtividade de matéria seca entre 21,8 e 31,2 Mg ha^{-1} ciclo^{-1}.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, J. L.; DONATO, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; PADILHA JÚNIOR, M. C. Palma forrageira 'Gigante' cultivada com adubação orgânica. Revista Agrotecnologia, v.6, p. 53-65, 2016.

BLANCO-MACÍAS, F.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; VÁZQUEZ-ALVARADO, R.; OLIVARES-SÁENZ, E.; GUTIÉRREZ-ORNELAS, E.; VIDALES-CONTRERAS, J. A.; MURILLO-AMADOR, B. Nutritional reference values for Opuntia ficus-indicadetermined by means of the boundary-line approach. Journal of Plant Nutrition Soil Science, v.173, p.927-934, 2010. http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200900147

CAMACHO, M. A.; SILVEIRA, M. V. S.; CAMARGO, R. A. NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranjeira-pera. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, n.1, p.193-200, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100020

DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; AQUINO, A. A. Nutrition and yield of 'Gigante' cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, p.1083-1088, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1083-1088

DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; PIRES, A. J. V.; SILVA JÚNIOR, A.A. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of 'Gigante' cactus pear under different spacing and organic fertilizer. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.21, p.238-243, 2017. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.9, p.151-158, 2014a. http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3252

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Revista Caatinga, v.27, n.1, p.163-172, 2014b.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; DE ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. DE A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.5, n.1, p.129-135, 2010. http://dx.doi. org/10.5039/agraria.v5i1a591

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. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.01.015.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de analise foliar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.2, p. 235-238, 2001. http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000200010

MARTINEZ, H. T. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrients e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quarto regiões de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n.6, p.703-713, jun. 2003. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000600006

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, 2005. 258p.

NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: Barbera, G; Inglese, P.; Pimienta-Barrios, E. P. (Eds.). Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira. Roma: FAO, 1995; João Pessoa: SEBRAE-PB, 2001. p.36-48.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, L. E. F.; NEVES, J. C. L. (eds.). Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PADILHA JÚNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. B.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes adubações e configurações de plantio. Revista Verde, v.11, n.1, p.67-72, 2016. http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i1.3710

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. Revista Científica de Produção Animal, Teresina, v.15, n.2, p.111-121, 2013. http://dx.doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v15n2p111-121

SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; DONATO, P. E. R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, p.866-875, 2012. http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7isa2134

SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; SILVA, F. F.; DONATO, PAULO E. R. Composição bromatológica de cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.8, p.342-350, 2013. http://dx.doi.org/ 10.5039/agraria.v8i2a2431

SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S.; PADILHA JR, M. C.; SILVA JR, A. A. Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.20, p.236-242, 2016. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p236-242

WADT, P. G. S.; ALVAREZ V.; V. H.; NOVAIS, R. F.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. O método da Chance Matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, n.4, p.773-778, 1998. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000400023

ARTIGO 2

ESTABELECIMENTO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' – MICRONUTRIENTES[2]

[2] Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do Periódico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

Estabelecimento de faixas de suficiência para avaliação nutricional da palma forrageira 'Gigante' - Micronutrientes

RESUMO: Objetivou-se estabelecer faixas normais dos micronutrientes nos tecidos dos cladódios para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante'. Utilizaram-se teores de micronutrientes dos cladódios e produtividades de matéria seca (PMS) de 72 parcelas, de um experimento com quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 Mg ha^{-1} ano^{-1}), três espaçamentos (1,00 x 0,50; 2,00 x 0,25 e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e dois ciclos de produção (600 e 930 dias após o plantio), dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, delineamento em blocos casualizados e três repetições. Determinaram-se faixas de suficiência (FS), média ± o desvio-padrão dos teores dos micronutrientes de parcelas com PMS ≥ 19,93 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$; Chance Matemática (*ChM*) para parcelas com PMS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, equivalente à média mais 0,5 desvio-padrão; e Nível Crítico (NCRIz). As FS, o NCRIz e as *ChM* são, respectivamente, para cada micronutriente, em mg kg^{-1}: B, 22,3-32,7; 23,7; 20,36-27,94; Cu, 2,0-3,7; 1,6; 1,8-2,8; Fe, 61,1-126,6; 62,0; 35,8-85,3; Mn, 260,0-507,7; 111,0; 54,8-252,2; Zn, 34,5-57,8; 30,3; 19,7-48,5; e, Na, 29,8-56,2; 19,4; 26,6-42,7. Para B, Zn e Na, a Faixa de Suficiência (FS), a Chance matemática (*ChM*) e o Nível Crítico (NICRIz) são adequados, enquanto para Cu, Fe e Mn, a *ChM* e o NICRIz são mais indicados para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante', associadas à produtividade de matéria seca entre 21,8 e 31,2 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$.

Palavras-chave: *Opuntia*, adubação, microelementos, nutrição, rendimento.

Establishment of sufficiency ranges for nutritional evaluation on the 'Giant' cactus pear – Micronutrients

ABSTRACT: It's been objected to establish the micronutrients normal ranges in the cladodes tissues to evaluate the 'Giant' cactus pear nutritional status. It was used cladodes micronutrients contents and dry matter yield (PMS) of 72 plots of one experiment with four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha^{-1} $year^{-1}$), three spacings (l.00 x 0.50, 2.00 x 0.25 and 3.00 x 1.00 x 0.25 m) and two production cycles (600 and 930 days after planting), prepared in a 4 x 3 x 2 factorial plan, design in randomized blocks and three repetitions. It was defined sufficiency ranges (FS), average ± standard deviation on micronutrient contents of the plots with PMS ≥ 19.93 Mg ha^{-1} $cycle^{-1}$; mathematical chance (ChM) for plots with PMS ≥ 23.75 Mg ha^{-1} $cycle^{-1}$, equivalent to the average plus 0.5 standard deviation; critical level (NCRIz). The FS, NCRIz and ChM are, respectively, for each micronutrient, in mg kg^{-1}: B, 22.3-32.7; 23.7; 20.36-27.94; Cu, 2.0-3.7; 1.6; 1.8-2.8; Fe, 61.1-126.6; 62.0; 35.8-85.3; Mn, 260.0-507.7; 111.0; 54.8-252.2; Zn, 34.5-57.8; 30.3; 19.7-48.5; and, Na, 29.8-56.2; 19.4; 26.6-42.7. For B, Zn and Na, the sufficiency range (FS), mathematical chance (ChM) and critical level (NICRIz) are adequate, while for Cu, Fe and Mn, ChM and NICRIz are more indicated for evaluation of the 'Giant' cactus pear nutritional status, associated with dry substance productivity between 21.8 and 31.2 Mg ha^{-1} $cycle^{-1}$.

Key words: *Opuntia ficus*, fertilization, nutritional evaluation.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) possui mecanismos morfofisiológicos especiais de adaptação à estresse por seca (Nobel, 1991), o que torna o seu cultivo essencial no Semiárido Brasileiro. A despeito disso, nas épocas de maior disponibilidade de água e de nutrientes, sobretudo com adoção de estratégias de manejo eficientes, principalmente quanto à adubação, a palma altera o seu comportamento fisiológico com consequente incremento no crescimento, na produtividade e na qualidade nutricional.

Estudos recentes com palma forrageira envolveram doses de adubação orgânica (Donato et al., 2014b), tipos de adubações orgânica, mineral e organomineral (Padilha Júnior et al., 2016) ou química (Silva et al., 2012). Os resultados evidenciam influência na extração de nutrientes (Donato et al., 2017; Silva et al., 2016a), no crescimento vegetativo (Silva et al., 2016b), no status nutricional da planta (Galizzi et al., 2004;), no valor nutricional da forragem e na produtividade de matéria seca (Silva et al., 2013).

A análise química dos tecidos vegetais é importante para avaliar o estado nutricional das plantas, em complemento à análise química do solo e à diagnose visual, e reflete a dinâmica de nutrientes no sistema solo- planta. Contudo, requer a definição de padrões, e de níveis críticos de nutrientes para sua correta interpretação. Para tanto, há técnicas como Faixa de Suficiência (Martinez et al., 2003), métodos da Chance Matemática (ChM), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose de Composição Nutricional (CND) (Serra et al., 2010; Camacho et al., 2012), bem como o Nível Crítico, pelo método de distribuição normal reduzida (NCRIz) (Maia et al., 2001).

Concernente à palma forrageira, determinaram-se faixas de suficiência e níveis críticos para macronutrientes em condições do México (Blanco-Macías et al., 2010). Contudo, há demanda de padrões interpretativos para os teores dos micronutrientes em tecidos de cladódios, que por vezes limitam a produtividade do cultivo, particularmente para as condições semiáridas da Bahia. Assim, objetivou-se estabelecer as faixas de suficiência dos micronutrientes nos tecidos dos cladódios para a palma forrageira ‘Gigante’.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com palma 'Gigante' foi conduzido em LATOSSOLO Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A fraco, textura média, entre setembro de 2009 e julho de 2012 (Donato et al., 2014a; Barros et al., 2016). A área localiza-se no Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi, Bahia, altitude média 525 m, latitude 14°13'30" sul, longitude 42°46'53"W oeste, com médias anuais de precipitação de 680 mm e temperatura de 26°C.

Utilizaram-se no presente estudo dados básicos de Donato (2011), Donato et al. (2014a, b, 2016) e Barros et al. (2016): teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), sódio (Na) e de matéria seca (MS) determinados em amostras coletadas em cladódios recém maduros; as produtividades de massa verde (PMV) e matéria seca (PMS) e a extração de micronutrientes da palma forrageira 'Gigante'.

A descrição da composição do esterco bovino utilizado e dos atributos do solo da área experimental antes do plantio do palmal encontra-se em Donato et al. (2014a, b, 2016) e Barros et al. (2016). Nas colheitas realizadas no primeiro (Donato et al., 2014a) e segundo ciclos de produção (Barros et al., 2016) preservaram-se três cladódios primários.

Utilizaram-se os teores de micronutrientes dos cladódios e as produtividades de matéria seca (PMS) de 72 parcelas de um experimento com palma forrageira 'Gigante', cuja PMS média era 19,93 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$. Os tratamentos, quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e 90 Mg ha^{-1} ano^{-1}), três espaçamentos (1,00 x 0,50; 2,00 x 0,25 e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e dois ciclos de produção (600 e 930 dias após o plantio), dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Para ajuste das faixas normais pela técnica da faixa de suficiência (*FS*) ou faixa crítica utilizaram-se a média ± o desvio-padrão de cada micronutriente obtida em parcelas com PMS maior ou igual à média, correspondente à 32 parcelas, de alta produtividade (Martinez et al., 2003). Enquanto para a chance matemática (*ChM*) (Wadt et al., 1998; Camacho et al., 2012), selecionaram-se os dados das parcelas com PMS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$, equivalente à média mais 0,5 desvio-padrão, população ou classe com alta PMS.

$FS = \bar{x} \pm kS\bar{x}$; $FS \geq (\bar{x} - kS\bar{x})\ e < (\bar{x} + kS\bar{x})$; em que: $\bar{x}$, média do teor de cada nutriente nos tecidos dos cladódios; $S\bar{x}$, desvio-padrão da média, raiz quadrada da variância $\sqrt{S}$; k, fator de correção para evitar faixas de suficiência muito amplas. Os valores de k foram fixados em função do coeficiente de variação (CV) de cada nutriente, conforme Martinez et al. (2003): k = 1,0 para os nutrientes com CV menor que 20%; k = 0,8 para os nutrientes com CV entre 20% e 40%; k = 0,6 para os nutrientes com CV entre 40% e 80%; e k = 0,4 para os nutrientes com CV maior que 80%.

Além da FS, os teores dos micronutrientes nos cladódios de palma forrageira 'Gigante' foram estratificados em classes deficiente (*DEF*), marginal (*MARG*), alto (*ALT*), muito alto (*MALT*), conforme procedimento a seguir: $DEF < (\bar{x} - 2kS\bar{x})$; $MARG \geq (\bar{x} - 2kS\bar{x}) e < (\bar{x} - kS\bar{x})$; $ALT \geq (x$+kS$\bar{x})\ e < (\bar{x} + 2kSx)$; $MALT \geq (\bar{x} + 2kS\bar{x})$.

Estimaram-se intervalos de confiança (*IC*) para as classes de interpretação dos teores de micronutrientes nos cladódios, $IC = \bar{x} \pm t\alpha . S\bar{x}$; em que: $\bar{x}$, média; $S\bar{x}$, desvio-padrão da média; $t\alpha$, valor de t bilateral a 10% de probabilidade, com n-1 número de parcelas de alta produtividade. Intervalos de confiança negativos foram substituídos por zero.

Utilizaram-se para determinar os níveis críticos dos micronutrientes nos cladódios da palma forrageira 'Gigante' o método do Nível Crítico pela distribuição normal reduzida (NCRIz) proposta por Maia et al. (2001). $NC_i = (1{,}281552S\bar{x}_1 + \bar{x}_1)/(1{,}281552S\bar{x}_2 + \bar{x}_2)$**;** em que: NC_i, Nível Crítico; $S\bar{x}_1$ e $\bar{x}_1$, desvio-padrão e média da produtividade (P); $S\bar{x}_2$ e $\bar{x}_2$**,** desvio-padrão e média de (Q), que é definido como a relação entre P e n_i, $Q = \frac{P}{n_i}$; em que n_i, teor do nutriente, o qual se pretende determinar o nível crítico.

Para determinação da chance matemática (*ChM*) (Wadt et al., 1998; Camacho et al., 2012), os teores nos cladódios de cada micronutriente foram ordenados e distribuídos em um número de classes definido pela raiz quadrada do número de observações. Os intervalos de cada classe foram obtidos pela divisão entre a amplitude dos teores do nutriente e o número de classes estabelecidas, calculando-se a chance matemática (ChM_i), pela equação $ChM_i = (ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) \times (ChM(\frac{A_i}{C_i}))^{0,5}$; em que $ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) = P\left(\frac{A_i}{A}\right) \times PROD_i$; $P\left(\frac{A_i}{A}\right)$= frequência de parcelas com alta produtividade na classe *i* em

relação ao total geral de parcelas com alta produtividade; $PROD_i$, produtividade média na classe i (Mg ha^{-1} ano^{-1}); $ChM\left(\frac{A_i}{C_i}\right) = P(\frac{A_i}{C_i}) \times PROD_i$; e $P(\frac{A_i}{C_i})$= frequência de parcelas com alta produtividade na classe *i* em relação ao total geral de parcelas com alta produtividade na classe *i*.

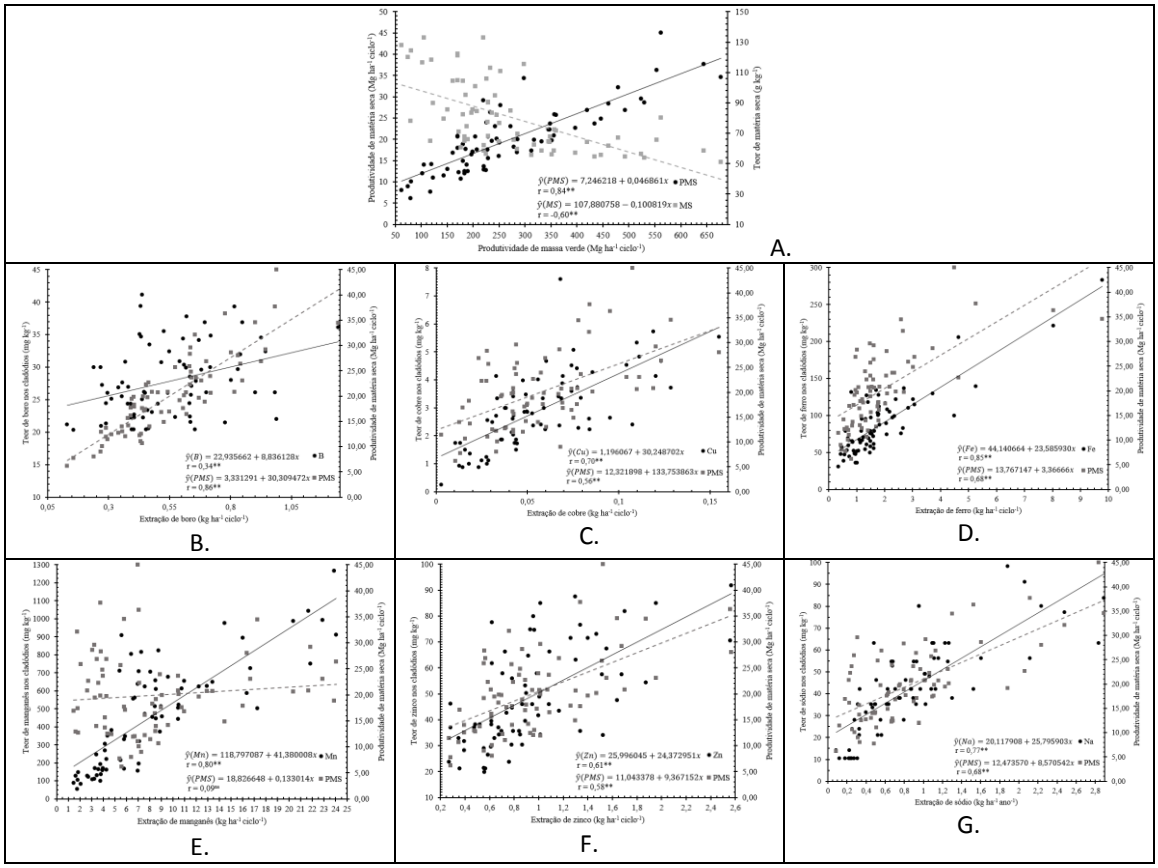
As faixas normais para cada micronutriente foram compreendidas entre os limites inferiores (LIi) e superiores (LSi) das classes de teores de nutrientes com maiores *ChM*. Consideraram-se ainda a maior frequência de total de parcelas na classe *i* e a maior frequência de parcelas com produtividade de MS ≥ 23,75 Mg ha^{-1} ciclo^{-1} na classe *i*.

Estimaram-se ainda correlações entre teores de micronutrientes nos tecidos dos cladódios e PMS com extração dos micronutrientes e com produtividade de massa verde.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de matéria seca da palma forrageira 'Gigante' decresce de forma linear com produtividade de massa verde, PMV, enquanto a produtividade de matéria seca, PMS aumenta (Figura 1A). As correlações entre teores de micronutrientes nos cladódios e PMS da palma forrageira 'Gigante' com extração dos respectivos micronutrientes do solo são positivas e significativas (Figura 1), com exceção para PMS e extração de Mn, não significativa. As maiores magnitudes foram registradas entre PMS e extração de B (0,86) e entre teor de Fe nos cladódios e extração de Fe (0,85). Correlações significativas entre teores de nutrientes nos cladódios e no solo foram estabelecidas, sendo negativas para Mn com Ca (-0,29) e positivas para Zn com P (0,26) (Galizzi et al., 2004).

As correlações positivas e significativas entre teores de micronutrientes nos cladódios e PMS da palma forrageira 'Gigante' com extração dos respectivos nutrientes (Figura 1) possibilitaram estabelecer faixas de suficiência, bem como estratificar cinco classes para avaliação do estado nutricional dessa forrageira (Tabela 1). As FS são associadas à determinadas PMS, pois a produtividade de qualquer cultura está relacionada à disponibilidade de nutrientes e sua consequente extração do solo (Donato et al., 2017).



**significativo à 1% de probabilidade; *significativo à 5% de probabilidade

Figura 1. Correlações entre produtividade e teor de matéria seca com produtividade de massa verde (A); teores de macronutrientes nos tecidos dos cladódios e produtividade de matéria seca, com extração/exportação dos respectivos micronutrientes pela palma forrageira 'Gigante' adubada com diferentes doses de esterco bovino, em dois ciclos de produção. B – boro, C – cobre, D – ferro, D - manganês, F – zinco e, G – sódio

Fonte: dados básicos, Donato (2011); Donato et al. (2014a, b, 2016); Barros et al. (2016)

Tabela 1. Valores dos teores de micronutrientes nos tecidos dos cladódios associados à produtividade de matéria seca (PMS), para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante' pela técnica da faixa de suficiência

Teores	PMS	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Classes	(Mg ha^{-1} ciclo^{-1})	(mg kg^{-1})					
Deficiente	<17,0	<17,1	<1,1	<28,4	<136,0	<15,0	<16,6
Marginal	17,0-21,8	17,1-22,3	1,1-2,0	28,4-61,1	136,0-260,0	15,0-30,6	16,6-29,8
Suficiente	21,8-31,2	22,3-32,7	2,0-3,7	61,1-126,6	260,0-507,7	34,5-57,8	29,8-56,2
Bom (alta)	31,2-36,0	32,7-37,8	3,7-4,5	126,6-159,3	507,7-631,6	57,8-69,5	56,2-69,3
Muito bom (muito alta)	≥36,0	≥37,8	≥4,5	≥159,3	≥631,6	≥69,5	≥69,3
Média	19,93	27,77	2,92	87,30	461,49	49,11	42,56
Desvio Padrão	7,64	5,52	1,38	42,73	294,21	18,93	20,40
CV[1] (%)	38,34	19,89	47,17	48,94	63,75	38,54	47,93
IC[2]	16,5-36,5	18,7-36,3	0,5-5,3	1,4-186,3	0-909,0	13,2 – 79,2	5,8-80,2

[1]Coeficiente de variação; [2]Intervalo de confiança dos teores de micronutrientes em tecidos de cladódios de palma forrageira 'Gigante' adubada com diferentes doses de esterco bovino, em dois ciclos de produção.

Os maiores valores de *ChM* para os teores de B em cladódios de palma forrageira 'Gigante' associado à PMS maior ou igual a 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$ foram observados nas classes 4 e 5 (20,3-27,9 mg kg^{-1}) (Tabela 2). Esses valores estão compreendidos na FS (22,3-32,7 mg kg^{-1}), e o NCRIz (23,7 mg kg^{-1}) coincide com a metade do intervalo da *ChM* (Tabela 3). Teores de B dentro da *ChM* e no limite inferior da FS (22,6 g kg^{-1}) foram obtidos por Silva et al. (2012) com 200-150-100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N-P_2O_5-K_2O.

O B foi o penúltimo micronutriente em ordem de extração/exportação pela palma forrageira na MS, 29,8 g Mg^{-1} (Donato, 2011) e 22,8 g Mg^{-1} (Silva et al., 2016a). Isso é compatível com a menor magnitude da associação entre teor no cladódio e extração de B (0,36), apesar da maior magnitude entre PMS e extração (Figura 1B), e ser o principal micronutriente relacionado ao crescimento da palma (Dubeux Júnior & Santos, 2005). Para o B, FS, *ChM* e NICRIz são adequados à avaliação do estado nutricional da palma.

Tabela 2. Valores de chance matemática (ChM)[1] estabelecidos para diferentes classes de distribuição de teores de micronutrientes em tecidos de cladódios de palma forrageira 'Gigante' adubada com diferentes doses de esterco bovino, em dois ciclos de produção

Classes	LIi[2] (mg kg^{-1})	LSi[3] (mg kg^{-1})	PRODi[4] (Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$)	Parcela classe i[5]	Parcela alta PMS classe i[6]	P1[7]	P2[8]	ChM(A_i/A)[9]	ChM(A_i/c_i)[10]	ChM[11] (Mg ha^{-1})
					Boro					
1	35,54	39,32	26,06	3	1	0,06	0,33	1,45	8,69	3,55
2	31,74	35,53	25,75	4	3	0,17	0,75	4,29	19,32	9,11
3	27,95	31,73	23,79	7	3	0,17	0,43	3,97	10,20	6,36
4	24,15	27,94	26,50	9	5	0,28	0,56	7,36	14,72	10,41
5	20,36	24,14	29,18	9	6	0,33	0,67	9,73	19,45	13,76
					Cobre					
1	4,76	5,73	23,10	4	1	0,06	0,25	1,28	5,77	2,72
2	3,78	4,75	24,67	4	2	0,11	0,50	2,74	12,33	5,81
3	2,79	3,77	24,06	5	1	0,06	0,20	1,34	4,81	2,54
4	1,81	2,78	30,18	11	8	0,44	0,73	13,41	21,95	17,16
5	0,83	1,80	25,71	8	2	0,11	0,25	2,86	6,43	4,28
					Ferro					
1	233,69	283,13	34,54	1	1	0,06	1,00	1,92	34,54	8,14
2	184,23	233,68	29,44	2	1	0,06	0,50	1,64	14,72	4,91
3	134,78	184,22	37,67	1	1	0,06	1,00	2,09	37,67	8,88
4	85,32	134,77	26,30	10	5	0,28	0,50	7,31	13,15	9,80
5	35,87	85,31	25,27	18	10	0,56	0,56	14,04	14,04	14,04
					Manganês					
1	844,39	1041,77	22,70	4	1	0,06	0,25	1,26	5,68	2,68
2	647,01	844,38	24,28	3	1	0,06	0,33	1,35	8,09	3,30
3	449,62	647,00	24,78	5	2	0,11	0,40	2,75	9,91	5,22
4	252,24	449,61	23,30	3	1	0,06	0,33	1,29	7,77	3,17
5	54,85	252,23	28,91	17	13	0,72	0,76	20,88	22,11	21,49

Zinco										
1	77,39	91,80	23,92	3	1	0,06	0,33	1,33	7,97	3,26
2	62,97	77,38	25,01	4	1	0,06	0,25	1,39	6,25	2,95
3	48,56	62,96	26,28	5	3	0,17	0,60	4,38	15,77	8,31
4	34,14	48,55	26,38	11	6	0,33	0,55	8,79	14,39	11,25
5	19,72	34,13	28,39	9	7	0,39	0,78	11,04	22,08	15,62
Sódio										
1	75,04	91,17	29,31	4	3	0,17	0,75	4,89	21,98	10,36
2	58,90	75,03	32,53	2	1	0,06	0,50	1,81	16,27	5,42
3	42,76	58,89	24,81	7	2	0,11	0,29	2,76	7,09	4,42
4	26,62	42,75	26,60	12	8	0,44	0,67	11,82	17,73	14,48
5	10,48	26,61	24,83	7	4	0,22	0,57	5,52	14,19	8,85

[1]Wadt et al. (1998), Camacho et al. (2012); [2]Limite inferior da classe i; [3]Limite superior da classe i; [4]Produtividade média de matéria seca (PMS, Mg ha^{-1} ano^{-1}) das parcelas na classe i; [5]Total de parcelas na classe i; [6]Total de parcelas com alta PMS na classe i, PMS $\geq$ 23,75 Mg ha^{-1} ano^{-1}, correspondente à PMS Média + 0,5 Desvio-padrão; [7]Frequência de parcelas de alta produtividade na classe i em relação ao total de parcelas de alta produtividade; [7]Frequência de parcelas de alta produtividade na classe i em relação ao total de parcelas na classe i; [9]$ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) = P\left(\frac{A_i}{A}\right) \times PROD_i$;[10]$ChM\left(\frac{A_i}{C_i}\right) = P(\frac{A_i}{C_i}) \times PROD_i$;[11]$ChM_i = (ChM\left(\frac{A_i}{A}\right) \times (ChM(\frac{A_i}{C_i}))^{0,5}$.

O maior valor de *ChM* para os teores de Cu em cladódios de palma forrageira 'Gigante' foi constatado na classe 4 (1,8-2,8 mg kg^{-1}) (Tabela 2). O limite inferior LIi da *ChM* é próximo do NCRIz (1,6 mg kg^{-1}) e o limite superior, LSi está na FS (2,0-3,7 mg kg^{-1}) (Tabela 3). Teores de Cu acima da FS (5,1 mg kg^{-1}) foram obtidos por Silva et al. (2012) para produção de forragem, com 200-150-100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N-P_2O_5-K_2O e dentro da FS (2,9 mg kg^{-1}) por Galizzi et al. (2004) para produção de frutos, com 100-50-100-50 kg ha^{-1} de N-P-K-Mg. O Cu é o micronutriente com menor extração/exportação pela palma forrageira na MS, 3,1 g Mg^{-1} (Donato, 2011) e 5,3 g Mg^{-1} (Silva et al., 2016a). Assim, o NICRIz e a *ChM* são mais adequados à avaliação do estado nutricional para Cu.

O maior valor de *ChM* para os teores de Fe em cladódios de palma forrageira 'Gigante' foi observado na classe 5 (35,87-85,31 mg kg^{-1}) (Tabela 2). O NCRIz (62,0 mg kg^{-1}) é intermediário à *ChM* e no limite inferior da FS e o LSi da *ChM* está na FS (61,1-126,6 mg kg^{-1}) (Tabela 3). Teores de Fe abaixo da FS, contudo dentro da *ChM* foram obtidos por Silva et al. (2012), 48,5 mg kg^{-1} e por Galizzi et al. (2004), 41 mg kg^{-1} . O Fe foi o segundo micronutriente em ordem de extração/exportação pela palma forrageira na MS, 72,5 g Mg^{-1} (Donato, 2011) e terceiro, 49,3 g Mg^{-1} (Silva et al., 2016a). Assim, o NICRIz e a *ChM* são mais adequados à avaliação do estado nutricional para Fe.

Tabela 3. Faixas normais de micronutrientes em tecidos de cladódios de palma forrageira 'Gigante' obtidas pela técnica da faixa de suficiência (FS), pelos métodos da chance matemática (ChM) e nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida (NCRIz), associadas à produtividade de matéria seca (PMS)

Atributos	PMS[1]	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Métodos	(Mg ha^{-1} ciclo^{-1})	(mg kg^{-1})					
FS	21,8-31,2[1]	22,3-32,7	2,0-3,7	61,1-126,6	260,0-507,7	34,5-57,8	29,8-56,2
ChM[3]	>23,75	20,3-27,9	1,8-2,8	35,8-85,3	54,8-252,2	19,7-48,5	26,6-42,7
NCRIz[3]	23,75[4]	23,7	1,6	62,0	111,0	30,3	19,4

[1]Faixa de produtividade de matéria seca associada às faixas normais de micronutrientes; [2]Estimada a partir dos limites inferior e superior das classes de frequência com maiores valores de chance matemática (Wadt et al. ,1998; Camacho et al., 2012), maior frequência de total de parcelas na classe *i* e maior frequência de parcelas com produtividade elevada na classe *i*; [3]Conforme Maia et al. (2001); [4]PMS Média + 0,5 Desvio-padrão, utilizada para separar parcelas de alta e baixa produtividade.

Para Mn a maior *ChM* está na classe 5 (54,8-252,2 mg kg^{-1}) (Tabela 2). O NCRIz (111,0 mg kg^{-1}), intermediário à *ChM* e o LSi próximo ao limite inferior da FS (260,0-507,7 mg kg^{-1}) (Tabela 3). Teores de Mn bem acima da *ChM* e da FS (Silva et al., 2012), 2.006,0 mg kg^{-1}, com 200-150-100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N-P_2O_5-K_2O, dentro da *ChM* e abaixo da FS (Galizzi et al., 2004), 138 mg kg^{-1} com 100-50-100-50 kg ha^{-1} de N-P-K-Mg. O Mn é o micronutriente com maior extração/exportação pela palma forrageira na MS, 638,1 g Mg^{-1} (Donato, 2011) e 1.968,2,3 g Mg^{-1} (Silva et al., 2016a), embora a associação entre PMS e extração de Mn seja não significativa (Figura 1E). Assim, o NICRIz e a *ChM* são mais adequados à avaliação do estado nutricional para Mn.

O valor elevado de Mn nos tecidos dos cladódios de palma forrageira 'Gigante' (Silva et al., 2012) e o triplo de extração/exportação de Mn (Silva et al., 2016a) é consequência do sulfato de amônio como fonte de N que reduz o pH, o que aumenta a solubilidade e a absorção do Mn^{2+}. Evidência disso foi a redução do pH de 5,33 antes do plantio para 4,29 à época da colheita com NPK. Por outro lado, o menor valor decorre do esterco que diminui a acidez e aumenta a adsorção de Mn. Donato et al. (2016) justificaram os menores teores nos cladódios pelo decréscimo do pH de 5,4 antes

do plantio para 6,0, 6,1 e 6,2 para áreas que receberam 30, 60 e 90 Mg ha^{-1} ano^{-1} de esterco, respectivamente.

Os maiores valores de *ChM* para os teores de Zn em cladódios de palma forrageira 'Gigante' associado à PMS maior ou igual a 23,75 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$ estão nas classes 4 e 5 (19,7-48,5 mg kg^{-1}) (Tabela 2). O NCRIz (30,3 mg kg^{-1}) é intermediário à *ChM* e abaixo do limite inferior da FS (34,5-57,8 mg kg^{-1}), os LIi e LSi da ChM estão abaixo dos respectivos limites da FS (Tabela 3). Teores de Zn acima da *ChM* e da FS foram observados por Silva et al. (2012), 67,14 mg kg^{-1} e Dubeux Júnior et al. (2010), 108,58 mg kg^{-1} e teores na *ChM* e abaixo da FS, por Galizzi et al. (2004), 23,8 mg kg^{-1} em média.

O Zn, terceiro micronutriente quanto à extração/exportação na MS, 58,3 g Mg^{-1} (Donato, 2011), e segundo, 65,1 g Mg^{-1} (Silva et al., 2016a). Sua deficiência interfere na síntese de auxina, proteínas e no crescimento (Epstein & Bloom, 2006). Assim, a FS, a *ChM* e o NICRIz são adequados à avaliação do estado nutricional para o Zn.

A maior *ChM* para Na está na classe 4 (26,7-42,7 mg kg^{-1}) (Tabela 2). Os LIi e LSi da ChM estão abaixo dos limites da FS (29,8-56,2 mg kg^{-1}) e o NCRIz (19,4 mg kg^{-1}) está abaixo dos LIi da ChM e da FS (Tabela 3). Teores de Na dentro da *ChM* e da FS observados por Silva et al. (2012), 40,0 mg kg^{-1} e Galizzi et al. (2004), 38,0 mg kg^{-1}. Assim, FS, *ChM* e NICRIz são adequados à avaliação do estado nutricional para o Na.

As quantidades extraídas/exportadas de Na pela palma forrageira 'Gigante' na matéria seca foi 45,9 g Mg^{-1} (Donato, 2011) e 32,3 g Mg^{-1} (Silva et al., 2016a). Apesar de geralmente não ser considerado essencial, Epstein & Bloom (2006) informam que Na é micronutriente para plantas com metabolismo CAM, como as *Opuntia*s (Nobel, 2001), pois é essencial à regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nessa via e sua deficiência induz, clorose e necrose e falha na formação de flores.

CONCLUSÕES

Para B, Zn e Na, a Faixa de Suficiência (FS), a Chance matemática (*ChM*) e o Nível Crítico (NICRIz) são adequados, enquanto para Cu, Fe e Mn, a *ChM* e o NICRIz são mais indicados para avaliação do estado nutricional da palma forrageira 'Gigante', associadas à produtividade de matéria seca entre 21,8 e 31,2 Mg ha^{-1} $ciclo^{-1}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, J. L.; DONATO, S. L. R. ; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; PADILHA JÚNIOR, M. C. Palma forrageira 'Gigante' cultivada com adubação orgânica. Revista Agrotecnologia, v.6, p. 53-65, 2016.

BLANCO-MACÍAS, F.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; VÁZQUEZ-ALVARADO, R.; OLIVARES-SÁENZ, E.; GUTIÉRREZ-ORNELAS, E.; VIDALES-CONTRERAS, J. A.; MURILLO-AMADOR, B. Nutritional reference values for Opuntia ficus-indicadetermined by means of the boundary-line approach. Journal of Plant Nutrition Soil Science, v.173, p.927-934, 2010. http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200900147

CAMACHO, M.A.; SILVEIRA, M.V.S.; CAMARGO, R.A. NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranjeira-pera. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, n.1, p.193-200, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100020

DONATO, P. E. R. Avaliação bromatológica, morfológica, nutricional e de rendimento em palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Itapetinga: UESB, 2011. 134f. Tese Doutorado.

DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; AQUINO, A. A. Nutrition and yield of 'Gigante' cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, p.1083-1088, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1083-1088

DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; PIRES, A. J. V.; SILVA JÚNIOR, A. A. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of 'Gigante' cactus pear under different spacing and organic fertilizer. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.21, p.238-243, 2017. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.9, p.151-158, 2014a. http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3252

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Revista Caatinga, v.27, n.1, p.163-172, 2014b.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; DE ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. DE A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.5, n.1, p.129-135, 2010. http://dx.doi. org/10.5039/agraria.v5i1a591

DUBEUX JÚNIOR, 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. (ed.). A palma no Nordeste do Brasil: Conhecimento atual e perspectivas de uso. 2.ed. Recife: UFPE, 2005. p.105-128.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

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. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.01.015.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de analise foliar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.2, p. 235-238, 2001. http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000200010

MARTINEZ, H. T. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrients e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quarto regiões de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n.6, p.703-713, jun. 2003. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000600006

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, 2005. 258p.

NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: Barbera, G; Inglese, P.; Pimienta-Barrios, E. P. (Eds.). Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira. Roma: FAO, 1995; João Pessoa: SEBRAE-PB, 2001. p.36-48.

PADILHA JÚNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. B.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes adubações e configurações de plantio. Revista Verde, v.11, n.1, p.67-72, 2016. http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i1.3710

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. Revista Científica de Produção Animal, Teresina, v.15, n.2, p.111-121, 2013. http://dx.doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v15n2p111-121

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. A. CAMACHO, M. A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos ChM, CND e DRIS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, n.1, p.97-104, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100010

SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; DONATO, P. E. R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob

diferentes espaçamentos e adubações química. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, p.866-875, 2012. http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7isa2134

SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; SILVA, F. F.; DONATO, PAULO E. R. Composição bromatológica de cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.8, p.342-350, 2013. http://dx.doi.org/ 10.5039/agraria.v8i2a2431

SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S.; PADILHA JR, M. C.; SILVA JR, A. A. Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.20, p.236-242, 2016a. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p236-242

SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S.; PADILHA JÚNIOR, M. C.; SILVA JUNIOR A. A. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, n.6, p.564-569, 2016b. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569

WADT, P. G. S.; ALVAREZ V.; V. H.; NOVAIS, R. F.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. O método da Chance Matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, n.4, p.773-778, 1998. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000400023