



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

MARCELO BATISTA TEIXEIRA

**NORMAS DRIS E VALORES DE REFERÊNCIA PARA PALMA FORRAGEIRA
'GIGANTE' CULTIVADA COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS**

GUANAMBI
BAHIA - BRASIL
2019



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

MARCELO BATISTA TEIXEIRA

**NORMAS DRIS E VALORES DE REFERÊNCIA PARA PALMA FORRAGEIRA
'GIGANTE' CULTIVADA COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS**

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
2019

T266n Teixeira, Marcelo Batista

Normas DRIS e valores de referência para palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas./Marcelo Batista Teixeira. – Guanambi, BA: 2019.

78f.: il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, 2019.

Orientador: Prof. DSc. Sérgio Luiz Rodrigues Donato

1. *Opuntia*. 2. Diagnose nutricional. 3. Fertilidade. 4. Fertilização orgânica. 5. Teores ótimos. I. Donato, Sérgio Luiz Rodrigues.
II. Título

CDU: 633.37



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BAIANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO

**TERMO DE APROVAÇÃO
DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

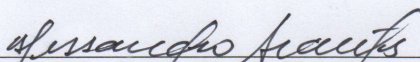
**NORMAS DRIS E VALORES DE REFERÊNCIA PARA PALMA FORRAGEIRA
'GIGANTE' CULTIVADA COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS**

por

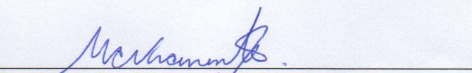
MARCELO BATISTA TEIXEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado às 08 horas 00 min. do dia 31 de janeiro de 2019, como requisito para a conclusão do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – *Campus Guanambi*. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

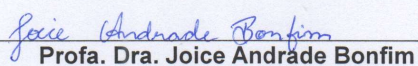
Banca examinadora:


Prof. Dr. Alessandro de Magalhães
Arantes

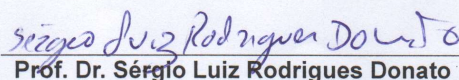
Membro
Instituto Federal Baiano


Profa. D.Sc. Martha de Cássia Nascimento

Membro
Instituto Federal Baiano


Profa. Dra. Joice Andrade Bonfim

Membro
Instituto Federal Baiano


Prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato

Orientador
Instituto Federal Baiano

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro deste universo, pela aconchegante companhia, pela sabedoria e pela saúde nesta trajetória de vida.

A minha amada mãe, Jesuína, pela confiança, e por acreditar que eu sempre poderia realizar os meus sonhos. Ao meu pai, Almir, agradeço as tuas mãos calejadas pelo trabalho duro na roça. Ao meu irmão, Marcos, pelo apoio incalculável durante todo o tempo.

A minha esposa, Hozana, pelos quase 10 anos de companheirismo, incentivo pessoal e profissional, por compartilhar dos mesmos objetivos de vida.

A nossa lindíssima Maria Eduarda, pelos seus sorrisos, gargalhadas e conversas infinitas. Hoje, você é quem nos incentiva a busca por dias melhores. Amo-te, infinitamente.

Ao nosso peludo, Lineu, bochechudo de olhos azuis e pelo amarelo claro sedoso, por estar sempre aos meus pés enquanto escrevia este trabalho, mordendo, brincando ou dormindo.

A minha família, em especial ao meu avô Geraldo Alves Teixeira (sempre lembrado), por ter sido um exemplo de pessoa carismática e amiga, por ter nos mantido sempre unidos, e por ter compartilhado as suas histórias do passado.

Ao Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi e ao programa de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, pela oportunidade de ser mestre. Foi uma grande satisfação retornar a essa casa.

Ao professor Carlos Elízio Cotrim, a quem recorri na busca pelas primeiras informações sobre o curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido.

Ao meu orientador, Sérgio Luiz Rodrigues Donato, pela confiança, pela sua inteira disponibilidade, dedicação, humildade, pelas imensuráveis contribuições a este trabalho e pelo exemplo de dedicação à Agronomia.

Aos grandes mestres do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi, que me inspiraram a Agronomia e que contribuíram para além da pós-graduação.

Ao Instituto Federal do Amapá, por viabilizar o curso de mestrado por meio da cessão do afastamento parcial e afastamento total das atividades.

Aos amigos do curso, Aime, Paulo, Sabrine, Régyla, Felipe, Evilásio, Nairo e Juliana, pela convivência, por dividirem as angústias e o cansaço e pela amizade.

A minha querida Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pelo título de Engenheiro Agrônomo e por oportunizar sonhos.

Aos amigos Daiane, Joselia e Jackson, que dividiram comigo, com um pouco de lenha, com sacos de tapioca, com caixas de verduras e outros passageiros, um espaço na carroceria da

C-10 de 'Tilé', quase todas as segundas-feiras, às 5h30 da manhã, no trajeto entre a roça e Guanambi, para depois pegarmos o ônibus para a Agrotécnica. A Kelly, que não foi minha contemporânea nessa fase, mas viveu tudo isso.

Ao amigo da família, Benito Alves, por ser presente em nossas vidas e fazer parte de todos os nossos momentos.

Ao amigo Bruno Vinícius, pelo suporte na estatística do trabalho e pelo incentivo na carreira profissional.

Aos inúmeros pós-graduandos, espalhados por este país, que trabalham como Cientistas, todos os dias, sem nenhum direito trabalhista, na luta e na esperança de conquistar seu pedaço deste Sol. Com muita fé, foco, força e farinha, tudo é possível!

A Sua Excelência, Luiz Inácio Lula da Silva, Dilma Vana Rousseff e Fernando Haddad, que por meio de políticas públicas, em seus governos, permitiram a ascensão social de muitas pessoas deste Brasil, inclusive a minha.

Muito obrigado!

Ela é cacto, mas dá flor também.
(Laís Rosa)

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	12
ARTIGO 1	15
NORMAS DRIS PARA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ CULTIVADA COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS	15
RESUMO	16
ABSTRACT	16
INTRODUÇÃO.....	17
MATERIAL E MÉTODOS	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS	27
ARTIGO 2	32
VALORES DE REFERÊNCIA PARA DIAGNOSE NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ PELOS MÉTODOS DRIS E IBKW.....	32
RESUMO	33
ABSTRACT	33
INTRODUÇÃO.....	34
MATERIAL E MÉTODOS	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS	50

ARTIGO 3.....	57
VALORES DE REFERÊNCIA PARA DIAGNOSE NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ PELO MÉTODO DA LINHA DE FRONTEIRA.....	57
RESUMO	58
ABSTRACT	58
INTRODUÇÃO.....	59
MATERIAL E MÉTODOS	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS	73
CONCLUSÕES GERAIS	77

RESUMO

TEIXEIRA, M. B., M.Sc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus Guanambi*, Guanambi, janeiro de 2019. **Normas DRIS e valores de referência para palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas.** Orientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma planta adaptada às condições adversas do semiárido devido as suas características morfológicas e fisiológicas, primordialmente, devido ao metabolismo ácido das crassuláceas (MAC). O Brasil produz 3.58 milhões de toneladas da cultura, sendo a Bahia o maior produtor, responsável por 42% dessa produção. A palma figura entre as quatro culturas mais importantes do estado. O potencial produtivo da palma forrageira é máximo quando as relações adequadas de nutrientes proporcionam o desenvolvimento normal da cultura. Conhecer o equilíbrio nutricional das plantas é importante para avaliar o potencial de rendimento. A diagnose foliar tem sido utilizada como complemento à análise química do solo e à diagnose visual e reflete a dinâmica dos nutrientes no sistema-solo-planta. Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho estabelecer as normas DRIS (Artigo 1), determinar valores de referência pelos métodos DRIS e IBKW (Artigo 2) e determinar valores de referência pela abordagem da Linha de Fronteira (Artigo 3) para diagnose nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas. Nos estudos, utilizaram-se os valores dos teores de macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na) determinados em amostras coletadas em cladódios recém maduros e as produtividades de matéria seca (PMS) de 72 parcelas de um experimento com palma forrageira ‘Gigante’, cuja PMS média era $19.93 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$. Os tratamentos, quatro doses de esterco bovino (0; 30; 60 e $90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), 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), foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. No artigo 1, para estabelecimento das normas DRIS, o banco de dados foi separado em uma população de alta (PAP) e outra de baixa produtividade (PBP), acima e abaixo de $19.93 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ de matéria seca, respectivamente. Foram calculadas a média, o desvio-padrão, o coeficiente de variação, as variâncias e a razão das variâncias de todas as relações bivariadas entre nutrientes, considerando a relação na forma direta (A/B) ou inversa (B/A). A seleção da relação direta ou inversa dos nutrientes para compor as normas

DRIS foi realizada pelo método da razão das variâncias entre a população de baixa e a de alta produtividade (S^2_b/S^2_a). Foi escolhida a ordem da relação que apresentou a maior razão de variância. Diferenças entre variâncias das relações nas PAP (S^2_a) e PBP (S^2_b) foram avaliadas pelo teste F. Estabeleceram-se as normas DRIS para a palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em condições semiáridas do sudoeste da Bahia, com 66 relações entre nutrientes. As normas DRIS estabelecidas viabilizam a utilização da diagnose foliar como método de avaliação do estado nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas. No artigo 2, utilizou-se o mesmo critério do artigo 1 para separar o banco de dados em população de alta e de baixa produtividade. Baseado na população de alta produtividade, foram calculados os índices DRIS para cada nutriente. A interpretação dos índices DRIS foi realizada pelo método do potencial de resposta à adubação (PRA). As cinco classes dos valores de referência para os teores de nutrientes nos cladódios foram definidas de acordo com a (s) faixa (s) de desvio padrão dos índices DRIS da população de alta produtividade. Por sua vez, com valores fixos dos IBKW, foi possível determinar os limites inferior e superior dos valores de referência dos teores de nutrientes nos cladódios. Os valores de referência gerados pelos métodos DRIS e IBKW diferem entre si e da literatura, para todos os nutrientes. Os métodos DRIS e IBKW foram eficientes na identificação dos nutrientes limitantes para palma forrageira ‘Gigante’, havendo diferenças na ordem hierárquica da limitação, por falta ou por excesso, e dos nutrientes não limitantes à produtividade. O método DRIS é recomendado para o diagnóstico de macronutrientes. No artigo 3, utilizou-se todo o banco de dados. Os limites inferior (L_i) e superior (L_s) das classes dos valores de referência foram determinados por regressão nas quais os teores de nutrientes nos cladódios foram utilizados como variáveis independentes (x) e a PMS como variável dependente (y), considerando uma porcentagem da máxima produtividade de matéria seca (declividade = 0). Foram estabelecidas cinco classes: deficiente, baixo, normal, alto e excessivo. Os valores de referência para macronutrientes determinados pela abordagem da Linha de Fronteira concordam com a literatura relacionada a diagnose nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em condições semiáridas da Bahia e podem ser utilizados no diagnóstico com a mesma precisão. Os valores estabelecidos para micronutrientes pelo método da Linha de Fronteira são menos adequados para interpretação do estado nutricional comparado à técnica da Faixa de Suficiência e a Chance Matemática. As relações ótimas entre nutrientes, de maior importância para a palma forrageira ‘Gigante’, estimadas através da abordagem da Linha de Fronteira, são semelhantes às mesmas relações determinadas pelas normas DRIS. Os métodos IBKW e Linha de Fronteira são menos sensíveis

para diagnósticos de micronutrientes que apresentam alto coeficiente de variação. Os valores de referência estabelecidos pela abordagem da Linha de Fronteira são mais próximos dos valores disponíveis na literatura do que aos valores determinados pelos métodos DRIS e IBKW. Os valores de referência determinados pelo método DRIS e aqueles citados na literatura são mais recomendados para diagnose nutricional de macronutrientes e micronutrientes, respectivamente, em palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em condições semiáridas da Bahia.

Palavras-chave: *Opuntia*. Diagnose nutricional. Fertilidade. Fertilização orgânica. Teores ótimos.

ABSTRACT

TEIXEIRA, M. B., M.Sc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus*

Guanambi, Guanambi, January of 2019. **DRIS norms and reference values for 'Gigante' cactus pear cultivated with organic fertilization in semiarid conditions.** Adviser: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

The cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) is a plant adapted to the adverse conditions of the semiarid due to its morphological and physiological characteristics, mainly, due to crassulacean acid metabolism. Brazil produces 3.58 million tons of the crop, Bahia is the largest producer, responsible for 42% of this production. The cactus pear is among the four most important crops in the state. The productive potential of cactus pear is utmost when adequate nutrient ratios provide the normal development of the crop. Understanding the nutritional balance of plants is important for evaluating yield potential. Foliar diagnosis has been used as a complement to soil chemical analysis and visual diagnosis and reflects the nutrient dynamics in the soil-plant system. It is been objected to establish the DRIS norms (Paper 1), to determine reference values by the DRIS and IBKW methods (Paper 2) and determine reference values by the Boundary-line approach (Paper 3) to evaluate the nutritional status of 'Gigante' cactus pear cultivated with organic fertilization in semiarid conditions. It was used cladodes macro (N, P, K, S, Ca and Mg) and micronutrients (B, Cu, Fe, Mn, Zn and Na) contents and dry matter yield (DMY) of 72 plots of one experiment with four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha⁻¹ year⁻¹), three spacings (1.00 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), arranged in a 4 x 3 x 2 factorial experiment, in randomized blocks design and three replicates. In paper 1, to establish the DRIS norms, the database was separated into a high-yield (HYP) and low-yield population (LYP), above and below 19.93 Mg ha⁻¹ cycle⁻¹, respectively. The mean, standard deviation, coefficient of variation, variance and variance ratio of all bivariate ratios among nutrients were calculated considering the ratio either in direct (A/B) or reverse (B/A) form. The selection of the direct or reverse ratio of the nutrients to establish the DRIS norms has been done by the variance ratio method between the low and high-yield populations (S^2_l/S^2_h). There were selected 66 ratios between nutrient contents in cladodes which presented the highest ratios between LYP and HYP variances (S^2_l/S^2_h). The established DRIS norms allow the use of foliar diagnosis as a method to evaluate the nutritional status of 'Gigante' cactus pear cultivated with organic fertilization in semiarid conditions. In paper 2, the same criterion of paper 1 has been used to split the database into a high-yield and low-yield population. Based on the high-yield population, the DRIS indices were calculated for each nutrient. The interpretation of the DRIS indices has been performed by the nutrient

application potential response (NAPR) method. The five ranges of nutrient contents in cladodes have been defined according to the standard deviation ranges of the DRIS indices of the high-yield population. In addition, with fixed IBKW values, it was possible to determine the lower and the upper limit of the reference values of nutrient contents in the cladodes. The reference values generated by the DRIS and IBKW methods differ from each other and from the literature, for all nutrients. The DRIS and IBKW methods were efficient in identifying the limiting nutrients for 'Gigante' cactus pear, with differences in hierarchical order of limitation, due to lack or excess, and nutrients not limiting to productivity. The DRIS method is recommended for the diagnosis of macronutrients. In paper 3, the entire database has been used. The lower (L_l) and the upper limits (L_u) of the reference values have been determined by solving the polynomial equation where the nutrient contents in cladodes were used as independent variables (x) and dry matter yield (DMY) as a dependent variable (y), considering a percentage of maximum DMY (slope = 0). Five classes were established: deficient, low, normal, high and excessive. The reference values for macronutrients determined by the Boundary-line approach agree with the literature related to the nutritional diagnosis of 'Gigante' cactus pear cultivated in semiarid conditions in Bahia and might be used in diagnosis with the same precision. The values established for micronutrients by Boundary-line approach are less adequate for the interpretation of nutritional status compared to Sufficiency Range and Mathematical Chance. In conclusion, the optimum nutrient ratios of greater importance for the 'Gigante' cactus pear, estimated through the Boundary-line approach, are similar to the same ratios determined by the DRIS norms. The IBKW and Boundary-line methods are less sensitive for micronutrient diagnoses that have a high coefficient of variation. The reference values established by the Boundary-line approach are closer to the values available in the literature than the values determined by the DRIS and IBKW methods. The reference values determined by the DRIS method and those cited in the literature are most recommended for the nutritional diagnosis of macronutrients and micronutrients, respectively, in 'Gigante' cactus pear grown under semiarid conditions in Bahia.

Keywords: *Opuntia*. Nutritional diagnosis. Fertility. Organic fertilization. Optimal range.

ARTIGO 1

NORMAS DRIS PARA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ CULTIVADA COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS¹

¹. Artigo submetido à Revista Caatinga, aguardando avaliação preliminar do Comitê Editorial.

NORMAS DRIS PARA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ CULTIVADA COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

RESUMO

Objetivou-se estabelecer as normas DRIS para avaliação do estado nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas. 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), foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, delineamento em blocos casualizados e três repetições. Para estabelecimento das normas DRIS, o banco de dados foi separado em população de alta (PAP) e de baixa produtividade (PBP), acima e abaixo de 19.93 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹, respectivamente. Foram calculadas a média, o desvio-padrão, o coeficiente de variação, as variâncias e a razão das variâncias de todas as relações bivariadas entre nutrientes, considerando a relação na forma direta (A/B) ou inversa (B/A). A seleção da relação direta ou inversa dos nutrientes para compor as normas DRIS foi realizada pelo método da razão das variâncias entre a população de baixa e a de alta produtividade (S^2_b/S^2_a). Foram escolhidas 66 relações entre os teores de nutrientes nos cladódios que apresentaram as maiores razões entre as variâncias da PBP e PAP (S^2_b/S^2_a). As normas DRIS estabelecidas viabilizam a utilização da diagnose foliar como método de avaliação do estado nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas.

Palavras-chave: *Opuntia*. Diagnose nutricional. Fertilidade. Fertilização orgânica.

DRIS NORMS FOR ‘GIGANTE’ CACTUS PEAR CULTIVATED WITH ORGANIC FERTILIZATION IN SEMIARID CONDITIONS

ABSTRACT

It is been objected to establish the DRIS norms to evaluate the nutritional status of ‘Gigante’ cactus pear cultivated with organic fertilization in semiarid conditions. It was used cladodes macro and micronutrients contents and dry matter yield (DMY) of 72 plots of one experiment

with four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha⁻¹ year⁻¹), three spacings (1.00 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), arranged in a 4 x 3 x 2 factorial experiment, in randomized blocks design and three replicates. To establish the DRIS norms, the database was separated into a high-yield (HYP) and low-yield population (LYP), above and below 19.93 Mg ha⁻¹ cycle⁻¹, respectively. The mean, standard deviation, coefficient of variation, variance and variance ratio of all bivariate ratios among nutrients were calculated considering the ratio either in direct (A/B) or reverse (B/A) form. The selection of the direct or reverse ratio of the nutrients to establish the DRIS norms was done by the variance ratio method between the low and high-yield populations (S^2_l/S^2_h). There were selected 66 ratios between nutrient contents in cladodes which presented the highest ratios between LYP and HYP variances (S^2_l/S^2_h). The established DRIS norms allow the use of foliar diagnosis as a method to evaluate the nutritional status of 'Gigante' cactus pear cultivated with organic fertilization in semiarid conditions.

Keywords: *Opuntia*. Nutritional diagnosis. Fertility. Organic fertilization.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma planta adaptada às condições adversas do semiárido devido as suas características morfológicas e fisiológicas, primordialmente, devido ao metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) (DONATO et al., 2014a). A cultura representa uma solução viável para a alimentação de rebanhos nos períodos de estiagem devido a boa produção de matéria seca por hectare, alto teor de carboidratos não fibrosos, boa aceitabilidade, digestibilidade e bom valor energético (ALMEIDA, 2012). O Brasil tem uma produção de 3.58 milhões de toneladas da cultura, sendo a Bahia o maior produtor, responsável por 42% dessa produção. A palma figura entre as quatro culturas mais importantes do estado (IBGE, 2017).

O potencial produtivo da palma forrageira é máximo quando as relações adequadas de nutrientes proporcionam o desenvolvimento normal da cultura. Conhecer o equilíbrio nutricional das plantas é importante para avaliar o potencial de rendimento (SERRA et al., 2010). A diagnose foliar é utilizada como complemento à análise química do solo e à diagnose visual, além de refletir a dinâmica dos nutrientes no sistema-solo-planta. O seu entendimento contribui para um cultivo sustentável e economicamente viável (DONATO et al., 2017b). A concentração

foliar dos nutrientes é considerada, atualmente, como o mais pertinente e confiável método para julgar o estado nutricional das plantas por representar a condição *in situ* de forma holística. Diversos métodos têm demonstrado a natureza dinâmica da composição de nutrientes no tecido vegetal (ATTAR et al., 2015). A combinação específica de teores de nutrientes, para a obtenção de produtividade elevada tem sido considerada em métodos como o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) (URANO et al., 2006).

O DRIS foi desenvolvido por Beaufils (1973). Esse método de diagnóstico usa as relações duais entre nutrientes com base nas normas (relações ótimas), permitindo avaliar o grau de equilíbrio dos nutrientes na planta (GUIMARÃES et al., 2015). O fato de considerar a própria planta como extrator dos nutrientes do solo permite uma avaliação direta do seu estado nutricional e indireta da fertilidade do solo, baseando-se na premissa de existir relação entre o suprimento de nutrientes pelo solo e os seus teores na planta (BEAUFILS, 1971).

A determinação da relação entre dois nutrientes quaisquer pode ser realizada através de duas formas de expressão: direta (A/B) e inversa (B/A). Normalmente, tem-se utilizado a razão entre as variâncias das populações de baixa e alta produtividade para a escolha de qual forma da relação deve ser utilizada. Diferentes critérios podem ser utilizados para definir a população de referência e podem resultar em normas distintas, com diferentes eficácias (SERRA et al., 2013).

Os trabalhos que determinaram normas para a palma forrageira pelos métodos de diagnóstico nutricional são escassos. Blanco-Macías et al. (2009, 2010) determinaram faixas de suficiência para a cultura pelos métodos Diagnóstico da Composição Nutricional (CND) e Linha de Fronteira para condições edafoclimáticas no México; Alves (2017) estabeleceu padrões interpretativos para os teores de nutrientes nos cladódios pelos métodos da Chance Matemática (ChM) e Faixa de Suficiência; e Donato et al. (2017b), para os atributos químicos do solo cultivado com palma forrageira ‘Gigante’ pelos métodos da Faixa de Suficiência e Nível Crítico pela distribuição normal reduzida (NCRIZ) nas condições semiáridas na Bahia.

Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho estabelecer as normas DRIS para diagnóstico nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com palma forrageira ‘Gigante’ foi conduzido num solo classificado originalmente como 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”S, longitude 42°46’53”W, com médias anuais de precipitação de 680 mm e temperatura de 26°C.

Foram utilizados no presente estudo dados básicos de Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016). Utilizaram-se os teores de macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na) determinados em amostras coletadas em cladódios recém maduros 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), foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Conforme Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016), o esterco utilizado apresentava, em média, em base seca (65 °C) umidade de 16.72%, teor de matéria orgânica de 63.73 g kg⁻¹ e os seguintes teores de macronutrientes (g kg⁻¹): Ca = 1.7, Mg = 0.2, K = 2.5, N = 5.2, S = 2.3 (EPA 3051 / APHA 3120B) e P = 4.7 (APHA 4500-PC); e micronutrientes (mg kg⁻¹): B = 2.1, Cu = 45.2, Zn = 200.5, Mn = 391.8 e Fe = 1,932.4 (EPA 3051 / APHA 3120B). O pH era 7.42 (Método oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2007)), e a densidade, 0.38 g cm⁻³.

A descrição dos atributos do solo da área experimental antes do plantio do palmar encontra-se em Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016). Sendo: P = 16.33 mg dm⁻³; K⁺ = 0.29, Ca⁺² = 2.02, Mg⁺² = 0.90, Al⁺³ = 0.16, H⁺ = 1.69, Na⁺ = 0.04, SB = 3.21, t = 3.36 e T = 5.05 cmol_c dm⁻³; V = 63.14, m = 4.86 e PST = 0.67 %; M.O = 14.67 g dm⁻³; Cu⁺⁺ = 0.36, Mn⁺⁺ = 17.61, Zn⁺⁺ = 1.42 e Fe⁺⁺ = 6.32 mg dm⁻³; e, pH = 5.42. Nas colheitas do primeiro (DONATO et al., 2014a) e segundo ciclos de produção (BARROS et al., 2016) preservaram-se três cladódios primários.

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, 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 Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG –

URENM). Os resultados das análises químicas do tecido vegetal para N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, juntamente com os respectivos resultados de produtividade, foram organizados e processados em planilha eletrônica Microsoft Excel[®]. De acordo com Beaufile (1973), para estabelecimento das normas DRIS, o banco de dados foi separado em uma população de alta (PAP) e outra de baixa produtividade (PBP), acima e abaixo de 19.93 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de matéria seca, respectivamente. O critério usado para separar as populações foi a média de produtividade de matéria seca das 72 parcelas.

Foram calculadas a média, o desvio-padrão, o coeficiente de variação, as variâncias e a razão das variâncias de todas as relações bivariadas entre nutrientes, considerando a relação na forma direta (A/B) ou inversa (B/A). Essas relações bivariadas foram aplicadas para todos os nutrientes do banco de dados. A seleção da relação direta ou inversa dos nutrientes para compor as normas DRIS foi realizada pelo método da razão das variâncias entre a população de baixa e a de alta produtividade (S^2_b/S^2_a). Foi escolhida a ordem da relação que apresentou a maior razão de variância. Diferenças entre variâncias das relações nas PAP (S^2_a) e PBP (S^2_b) foram avaliadas pelo teste F (SILVA; CARVALHO, 2006; SERRA et al., 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de produtividade, coeficiente de variação e teores foliares médios para a população de alta (PAP) e de baixa produtividade (PBP) indicam que nem sempre as concentrações dos macronutrientes e micronutrientes são mais altas na população de alta produtividade em relação a população de baixa produtividade (Tabela 1). Isso, a princípio poderia indicar a ocorrência de falsos diagnósticos, pois a planta pode apresentar quantidade adequada do nutriente e ao mesmo tempo um desequilíbrio nutricional. Contudo, o método DRIS baseado na avaliação do equilíbrio entre nutrientes contribui para solucionar esse problema de diagnóstico, pois uso da população de alta produtividade para obtenção das normas parte do pressuposto que, nesta população, o valor médio da relação entre dois nutrientes quaisquer seja mais próximo do ótimo fisiológico (SILVA; CARVALHO, 2006).

Tabela 1. Produtividade de matéria seca (PMS), coeficiente de variação (CV) e teores médios de nutrientes nos cladódios da população de alta (PAP) e de baixa produtividade (PBP) de palma

forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia.

	PMS (Mg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)	N	P	K	S	Ca	Mg
		----- g kg ⁻¹ -----					
PAP	26.53	15.62	1.46	37.89	1.57	28.03	11.88
PBP	14.65	14.28	1.38	34.49	1.40	29.97	12.15
CV (%)	31.69	16.57	45.13	18.88	29.65	16.89	23.64
	PMS (Mg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
		----- mg kg ⁻¹ -----					
PAP	26.53	27.50	2.89	93.89	383.82	46.18	43.01
PBP	14.65	28.00	2.94	82.03	523.62	51.46	42.19
CV (%)	31.69	19.99	44.44	51.46	74.03	37.88	44.26

Fonte: Elaboração do autor.

Dentre os nutrientes avaliados, as concentrações de cálcio, magnésio, boro, cobre, manganês e zinco foram maiores na população de baixa produtividade (Tabela 1). A população de alta produtividade foi formada, em 81.25%, por parcelas que receberam as maiores doses de esterco bovino, 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Em solos ácidos, a adição de esterco bovino resulta no aumento do pH visto que os ácidos orgânicos são capazes de consumir H⁺ da solução do solo. A redução na acidez do solo aumentou, levemente, a disponibilidade de P e diminuiu a disponibilidade de micronutrientes, como Cu, Zn e Mn. Observa-se que, dentre os micronutrientes, o Mn apresentou maior redução na sua absorção, com o aumento do pH do solo. A formação de complexos orgânicos dos ácidos húmicos e fúlvicos, presentes na matéria orgânica, com Mn, Cu e Zn também justificam a redução dos teores médios nos cladódios desses micronutrientes (SOUSA et al., 2007). O desequilíbrio em relação a outros micronutrientes, como o Mn, Cu e Mo pode justificar os mais baixos teores de ferro na população de baixa produtividade (ABREU et al., 2007).

Para o estabelecimento das normas DRIS, as populações de alta e de baixa produtividade foram constituídas de 32 e 40 amostras, respectivamente. Foram obtidas 132 relações entre nutrientes, das quais foram selecionadas 66 que apresentaram a maior razão S²_b/S²_a. Dentre essas 66 relações, 27 apresentaram diferenças significativas entre S²_b/S²_a (Tabela 2). O método da razão entre variâncias favorece a seleção de relações com menor variância na população de alta produtividade (SERRA et al., 2013). Nessas relações estavam presentes o Cu (oito relações), P (sete relações), Mn e S (seis relações), Ca e Zn (cinco relações), K e Mg (quatro relações), Na (duas relações) e N (uma relação). Nenhuma relação com ferro apresentou diferença significativa.

Tabela 2. Normas (média e desvio-padrão, DP), coeficiente de variação (CV), variância (S^2), razão das variâncias (S^2_b/S^2_a) da população de alta produtividade (PAP) e da população de baixa produtividade (PBP) e relação selecionada (RS) para as concentrações dos nutrientes em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia.

Relação	PAP				PBP					
	Média	DP	CV (%)	S^2_a	Média	DP	CV (%)	S^2_b	S^2_b/S^2_a	RS
N/P	13.23	6.97	52.65	48.55	13.54	7.67	56.61	58.80	1.21 ^{ns}	X
P/N	0.10	0.05	51.42	0.00	0.10	0.05	52.49	0.00	1.04 ^{ns}	-
N/K	0.43	0.13	30.37	0.02	0.43	0.11	24.95	0.01	0.67 ^{ns}	-
K/N	2.50	0.67	26.80	0.45	2.46	0.58	23.50	0.33	0.74 ^{ns}	X
N/Ca	0.58	0.15	26.31	0.02	0.50	0.13	26.60	0.02	0.76 ^{ns}	-
Ca/N	1.85	0.48	25.99	0.23	2.16	0.59	27.35	0.35	1.50 ^{ns}	X
N/Mg	1.37	0.36	26.44	0.13	1.22	0.31	25.38	0.10	0.72 ^{ns}	X
Mg/N	0.78	0.20	25.50	0.04	0.86	0.16	19.14	0.03	0.69 ^{ns}	-
N/S	11.49	5.60	48.76	31.42	11.38	4.72	41.53	22.32	0.71 ^{ns}	X
S/N	0.11	0.04	42.21	0.00	0.10	0.04	36.26	0.00	0.68 ^{ns}	-
N/B	0.59	0.18	29.81	0.03	0.54	0.17	32.43	0.03	0.97 ^{ns}	-
B/N	1.84	0.58	31.54	0.34	2.05	0.65	31.63	0.42	1.25 ^{ns}	X
N/Cu	7.33	4.77	65.09	22.77	7.36	8.53	115.91	72.71	3.19 ^{**}	X
Cu/N	0.20	0.11	57.87	0.01	0.22	0.13	60.71	0.02	1.38 ^{ns}	-
N/Fe	0.21	0.09	46.25	0.01	0.20	0.08	39.98	0.01	0.68 ^{ns}	X
Fe/N	6.02	3.10	51.47	9.60	5.79	1.94	33.43	3.74	0.39 ^{**}	-
N/Mn	0.08	0.07	83.06	0.00	0.04	0.04	93.90	0.00	0.35 ^{**}	-
Mn/N	27.33	24.09	88.13	580.28	40.13	24.91	62.07	620.40	1.07 ^{ns}	X
N/Zn	0.41	0.20	49.31	0.04	0.33	0.16	48.98	0.03	0.62 ^{ns}	-
Zn/N	3.15	1.65	52.30	2.72	3.83	1.77	46.19	3.13	1.15 ^{ns}	X
N/Na	0.56	0.51	90.51	0.26	0.45	0.34	75.32	0.12	0.45 ^{**}	-
Na/N	2.87	1.49	52.05	2.23	3.08	1.52	49.28	2.30	1.03 ^{ns}	X
P/K	0.04	0.02	39.81	0.00	0.04	0.01	37.52	0.00	0.90 ^{ns}	-
K/P	29.44	9.69	32.92	93.90	30.11	12.23	40.63	149.65	1.59 ^{ns}	X
P/Ca	0.05	0.03	48.90	0.00	0.05	0.02	50.48	0.00	0.82 ^{ns}	-
Ca/P	22.44	8.98	40.02	80.61	27.34	13.22	48.37	174.87	2.17 [*]	X
P/Mg	0.13	0.07	53.82	0.00	0.12	0.06	51.68	0.00	0.75 ^{ns}	-
Mg/P	9.61	4.19	43.62	17.58	11.26	6.11	54.28	37.34	2.12 [*]	X
P/S	0.92	0.25	27.41	0.06	0.94	0.29	30.34	0.08	1.28 ^{ns}	-
S/P	1.15	0.25	22.03	0.06	1.16	0.34	29.60	0.12	1.83 [*]	X

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Relação	PAP				PBP					
	Média	DP	CV (%)	S^2_a	Média	DP	CV (%)	S^2_b	S^2_b/S^2_a	RS
P/B	0.05	0.02	42.51	0.00	0.05	0.03	60.09	0.00	1.87 [*]	-
B/P	21.98	9.38	42.66	87.96	26.61	15.65	58.82	244.95	2.78 ^{**}	X

P/Cu	0.55	0.17	31.74	0.03	0.54	0.30	55.35	0.09	2.96**	-
Cu/P	2.00	0.59	29.47	0.35	2.48	1.57	63.18	2.45	7.06**	X
P/Fe	0.02	0.01	59.03	0.00	0.02	0.01	54.77	0.00	0.78 ^{ns}	-
Fe/P	76.53	51.94	67.87	2698.15	76.07	50.75	66.72	2576.00	0.95 ^{ns}	X
P/Mn	0.01	0.00	62.87	0.00	0.00	0.00	78.17	0.00	0.62 ^{ns}	-
Mn/P	243.98	140.53	57.60	19748.16	503.16	410.93	81.67	168862.30	8.55**	X
P/Zn	0.03	0.01	34.65	0.00	0.03	0.01	38.13	0.00	0.81 ^{ns}	-
Zn/P	33.54	11.13	33.18	123.83	43.52	18.51	42.52	342.45	2.77**	X
P/Na	0.05	0.03	66.04	0.00	0.04	0.02	46.52	0.00	0.31**	-
Na/P	34.32	23.15	67.46	535.87	37.01	27.73	74.92	768.94	1.43 ^{ns}	X
K/Ca	1.36	0.26	19.01	0.07	1.19	0.32	26.52	0.10	1.48 ^{ns}	-
Ca/K	0.76	0.13	16.95	0.02	0.90	0.26	28.98	0.07	4.19**	X
K/Mg	3.28	0.74	22.40	0.54	2.91	0.66	22.64	0.44	0.80 ^{ns}	-
Mg/K	0.32	0.08	25.59	0.01	0.36	0.09	23.84	0.01	1.10 ^{ns}	X
K/S	25.54	5.79	22.69	33.56	25.75	5.33	20.71	28.44	0.85 ^{ns}	-
S/K	0.04	0.01	21.66	0.00	0.04	0.01	20.52	0.00	0.87 ^{ns}	X
K/B	1.40	0.31	22.11	0.10	1.29	0.41	31.91	0.17	1.76 ^{ns}	-
B/K	0.75	0.16	21.88	0.03	0.86	0.28	33.04	0.08	3.01**	X
K/Cu	15.94	6.88	43.16	47.33	16.05	14.87	92.66	221.25	4.67**	X
Cu/K	0.08	0.03	42.98	0.00	0.09	0.05	59.97	0.00	2.74**	-
K/Fe	0.49	0.19	38.77	0.04	0.47	0.17	36.81	0.03	0.84 ^{ns}	X
Fe/K	2.49	1.30	52.30	1.70	2.45	0.98	40.18	0.97	0.57*	-
K/Mn	0.18	0.12	69.19	0.01	0.10	0.09	85.71	0.01	0.49*	-
Mn/K	9.67	6.89	71.23	47.43	16.25	9.51	58.54	90.52	1.91*	X
K/Zn	0.92	0.27	29.40	0.07	0.75	0.27	35.87	0.07	1.00 ^{ns}	-
Zn/K	1.21	0.46	37.71	0.21	1.56	0.72	46.36	0.52	2.49**	X
K/Na	1.28	0.97	76.11	0.94	1.00	0.52	51.98	0.27	0.29**	-
Na/K	1.18	0.67	57.00	0.45	1.26	0.71	56.48	0.51	1.12 ^{ns}	X
Ca/Mg	2.42	0.39	16.14	0.15	2.53	0.55	21.77	0.30	2.00*	X
Mg/Ca	0.43	0.08	17.96	0.01	0.41	0.09	22.79	0.01	1.52 ^{ns}	-
Ca/S	19.33	5.62	29.09	31.63	23.15	7.25	31.31	52.56	1.66 ^{ns}	X
S/Ca	0.06	0.02	27.92	0.00	0.05	0.02	33.49	0.00	1.06 ^{ns}	-
Ca/B	1.04	0.22	20.79	0.05	1.11	0.33	29.41	0.11	2.27**	X
B/Ca	1.00	0.21	20.62	0.04	0.97	0.24	24.86	0.06	1.36 ^{ns}	-
Ca/Cu	12.00	5.66	47.18	32.05	13.62	11.42	83.84	130.43	4.07**	X
Cu/Ca	0.10	0.04	41.67	0.00	0.10	0.05	48.41	0.00	1.29 ^{ns}	-
Ca/Fe	0.36	0.14	39.58	0.02	0.41	0.14	33.47	0.02	0.89 ^{ns}	X
Fe/Ca	3.34	1.71	51.11	2.91	2.77	0.99	35.89	0.99	0.34*	-
Ca/Mn	0.13	0.10	71.88	0.01	0.08	0.07	85.81	0.01	0.56*	-
Mn/Ca	13.25	9.68	73.10	93.78	18.15	10.31	56.82	106.34	1.13 ^{ns}	X
Ca/Zn	0.68	0.21	30.59	0.04	0.64	0.20	32.04	0.04	0.96 ^{ns}	X
Zn/Ca	1.62	0.55	33.92	0.30	1.73	0.53	30.99	0.29	0.95 ^{ns}	-

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Relação	PAP				PBP				RS	
	Média	DP	CV (%)	S ² _a	Média	DP	CV (%)	S ² _b		S ² _b /S ² _a
Ca/Na	0.96	0.79	82.54	0.63	0.87	0.45	51.79	0.20	0.32**	-
Na/Ca	1.56	0.80	51.42	0.64	1.42	0.66	46.96	0.44	0.69 ^{ns}	X

Mg/S	8.30	3.06	36.91	9.39	9.40	3.28	34.91	10.76	1.15 ^{ns}	X
S/Mg	0.14	0.05	34.05	0.00	0.12	0.04	32.36	0.00	0.69 ^{ns}	-
Mg/B	0.44	0.13	28.18	0.02	0.46	0.16	34.98	0.03	1.65 ^{ns}	-
B/Mg	2.41	0.61	25.28	0.37	2.46	0.88	35.66	0.77	2.07*	X
Mg/Cu	5.23	2.82	53.86	7.94	5.67	4.65	82.03	21.63	2.72**	X
Cu/Mg	0.25	0.12	49.03	0.02	0.25	0.14	55.83	0.02	1.33 ^{ns}	-
Mg/Fe	0.15	0.06	38.45	0.00	0.16	0.05	29.54	0.00	0.66 ^{ns}	-
Fe/Mg	0.02	0.01	47.69	0.00	0.02	0.01	41.83	0.00	0.68 ^{ns}	X
Mg/Mn	0.06	0.05	79.42	0.00	0.04	0.03	86.28	0.00	0.41**	-
Mn/Mg	33.51	26.67	79.57	711.09	46.60	28.84	61.88	831.55	1.17 ^{ns}	X
Mg/Zn	0.30	0.12	40.48	0.01	0.27	0.11	42.45	0.01	0.90 ^{ns}	-
Zn/Mg	4.00	1.72	42.92	2.95	4.44	1.89	42.53	3.57	1.21 ^{ns}	X
Mg/Na	0.43	0.41	94.71	0.17	0.36	0.21	59.07	0.04	0.27**	-
Na/Mg	3.83	2.00	52.17	3.98	3.53	1.64	46.54	2.70	0.68 ^{ns}	X
S/B	0.06	0.01	26.31	0.00	0.05	0.02	36.16	0.00	1.58 ^{ns}	-
B/S	18.95	5.78	30.49	33.37	22.17	9.07	40.92	82.34	2.47**	X
S/Cu	0.61	0.18	30.09	0.03	0.59	0.36	61.05	0.13	3.79**	X
Cu/S	1.80	0.59	32.97	0.35	2.16	1.14	52.95	1.31	3.71**	-
S/Fe	0.02	0.01	47.69	0.00	0.02	0.01	41.83	0.00	0.68 ^{ns}	-
Fe/S	64.44	37.44	58.10	1401.62	63.65	32.37	50.87	1048.06	0.75 ^{ns}	X
S/Mn	0.01	0.00	67.50	0.00	0.00	0.00	83.13	0.00	0.52*	-
Mn/S	222.08	130.88	58.93	17128.37	413.86	267.83	64.71	71731.56	4.19**	X
S/Zn	0.04	0.01	27.23	0.00	0.03	0.01	31.97	0.00	0.89 ^{ns}	-
Zn/S	29.66	8.72	29.40	76.03	38.43	14.56	37.88	211.89	2.79**	X
S/Na	0.05	0.04	71.14	0.00	0.04	0.01	38.87	0.00	0.17**	-
Na/S	30.27	19.84	65.54	393.67	30.81	14.65	47.53	214.49	0.54*	X
B/Cu	11.88	6.07	51.03	36.79	13.71	16.12	117.56	259.74	7.06**	X
Cu/B	0.10	0.05	45.52	0.00	0.11	0.05	43.80	0.00	0.97 ^{ns}	-
B/Fe	0.37	0.16	44.70	0.03	0.40	0.19	48.16	0.04	1.39 ^{ns}	X
Fe/B	3.60	2.45	68.24	6.02	3.12	1.46	46.70	2.12	0.35**	-
B/Mn	0.34	0.29	86.79	0.09	0.08	0.07	86.01	0.00	0.05**	-
Mn/B	13.36	10.23	76.57	104.67	18.70	9.33	49.89	87.09	0.83 ^{ns}	X
B/Zn	0.68	0.24	35.75	0.06	0.62	0.27	44.09	0.07	1.25 ^{ns}	X
Zn/B	1.68	0.69	40.89	0.47	1.88	0.67	35.76	0.45	0.95 ^{ns}	-
B/Na	0.92	0.67	72.85	0.45	0.86	0.57	66.70	0.33	0.72 ^{ns}	X
Na/B	1.63	0.99	60.62	0.98	1.57	0.81	51.28	0.65	0.67 ^{ns}	-
Cu/Fe	0.04	0.02	65.02	0.00	0.04	0.03	67.88	0.00	1.30 ^{ns}	-
Fe/Cu	39.22	22.68	57.83	514.34	37.21	28.34	76.15	802.98	1.56 ^{ns}	X
Cu/Mn	0.01	0.01	77.24	0.00	0.01	0.01	75.22	0.00	0.40**	-
Mn/Cu	125.54	63.37	50.48	4016.24	259.45	434.10	167.32	188443.31	46.92**	X
Cu/Zn	0.06	0.02	27.25	0.00	0.06	0.02	34.70	0.00	1.36 ^{ns}	-
Zn/Cu	17.34	5.03	29.01	25.30	20.77	13.37	64.36	178.76	7.07**	X

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Relação	PAP				PBP				RS	
	Média	DP	CV (%)	S ² _a	Média	DP	CV (%)	S ² _b		S ² _b /S ² _a
Cu/Na	0.08	0.05	56.30	0.00	0.08	0.04	54.11	0.00	0.83 ^{ns}	-
Na/Cu	17.40	11.66	67.00	135.93	17.21	10.82	62.89	117.09	0.86 ^{ns}	X

Fe/Mn	0.53	0.53	101.06	0.28	0.25	0.25	98.80	0.06	0.21**	-
Mn/Fe	5.43	4.79	88.27	22.96	7.63	5.26	68.85	27.62	1.20 ^{ns}	X
Fe/Zn	2.33	1.41	60.76	2.00	1.83	1.01	55.47	1.03	0.51*	-
Zn/Fe	0.61	0.36	58.75	0.13	0.72	0.37	51.32	0.14	1.07 ^{ns}	X
Fe/Na	3.00	2.54	84.76	6.47	2.48	1.85	74.33	3.41	0.53*	-
Na/Fe	0.54	0.32	59.55	0.10	0.58	0.36	61.96	0.13	1.25 ^{ns}	X
Mn/Zn	7.53	4.20	55.75	17.60	10.72	6.36	59.30	40.39	2.29**	X
Zn/Mn	0.18	0.10	56.43	0.01	0.13	0.08	59.79	0.01	0.55*	-
Mn/Na	10.69	8.00	74.79	63.92	16.13	14.29	88.62	204.29	3.20**	X
Na/Mn	0.22	0.28	126.98	0.08	0.12	0.12	98.61	0.01	0.18**	-
Zn/Na	1.40	0.85	60.94	0.73	1.42	0.61	43.30	0.38	0.52*	-
Na/Zn	1.04	0.70	66.65	0.48	0.89	0.55	62.04	0.30	0.62 ^{ns}	X

Conclusão.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}não-significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Entre as 110 relações duais, o CV variou de 16.14% para a relação (Ca/Mg) até 126.98% para (Na/Mn), na PAP, e até 167.32% para (Mn/Cu), na PBP. Em todos os casos, os maiores valores de CV das relações duais estão associados aos micronutrientes, principalmente Mn e também ao Na. Todas as relações que apresentaram um CV maior que 50% envolvem os micronutrientes, exceto B e Zn. Apesar da grande variabilidade, as normas geradas no presente estudo podem ser consideradas adequadas para a cultura, pois é comum os micronutrientes proporcionarem altos valores de CV nas relações duais (SILVA; CARVALHO, 2006), o que está associado a maior interferência de fatores na sua dinâmica no sistema solo-planta. Os micronutrientes tem a sua disponibilidade no solo afetada pelo pH, teor de matéria orgânica, teor de argila, material de origem e no caso específico do Fe e Mn pelo potencial de oxirredução. Esses fatores podem contribuir para interferência no contato íon-raiz (ABREU et al., 2007), na consequente absorção e no seu teor nos tecidos dos cladódios de palma forrageira.

Na maioria dos casos, o pH do solo é o fator que mais influencia a disponibilidade de Mn para as plantas (ABREU et al., 2007). No presente trabalho desenvolvido a partir de um ensaio de adubação orgânica com doses variáveis de esterco há geração de cargas negativas com aumento da dose, o que aumenta a adsorção de Mn. Donato et al. (2016) justificaram os menores teores de Mn nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ pelo acréscimo do pH de 5.4 antes do plantio para 6.0, 6.1 e 6.2 com adição de 30, 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, respectivamente. Por outro lado, Silva et al. (2012) em ensaio com adubação mineral encontraram teor de Mn da ordem de 2,006.0 mg kg⁻¹, muito acima da faixa de suficiência, 260.0-507.7 mg kg⁻¹ (DONATO et al., 2017b). Silva et al. (2016) observaram o triplo de extração/exportação de Mn, consequência do uso de sulfato de amônio como fonte de N, que

reduz o pH e, com isso, aumenta a solubilidade e a absorção do Mn^{2+} . Evidência disso foi a redução do pH de 5.3 antes do plantio para 4.3 na época da colheita, onde foi adubado com NPK, utilizando sulfato de amônio como fonte de N. Essa discussão ilustra a influência do pH na disponibilidade de Mn e justifica a alta variabilidade nos tecidos da palma forrageira em ensaios com doses variáveis de fertilizantes, como no presente trabalho.

Referente ao sódio, a literatura é bastante controversa, muitas vezes considerando-o benéfico ou tóxico. Apesar de não ser essencial para todas as espécies, Marschner (2012) informa que o Na é micronutriente para plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), por exemplo as espécies de *Opuntia*, por ser essencial à regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nessa via, e sua deficiência induz clorose e necrose, além de falha na formação de flores.

Sumner e Beaufils (1975) defendem a aplicação universal das normas DRIS. Contudo, o desenvolvimento das culturas está sujeito às condições de fertilidade, clima, relações hídricas, cultivar, etc. Em culturas perenes, a existência de desordens nutricionais podem afetar as plantas cumulativamente ao longo dos anos. Além dos fatores citados previamente, a ocorrência de pragas e doenças tem influências na nutrição das plantas e nas alterações de respostas à adubações. Por essas razões, as normas DRIS seriam mais confiáveis se fossem localmente definidas (CARNEIRO et al., 2015).

Não foram encontrados outros trabalhos que mostram as relações nutricionais, normas DRIS, para a palma forrageira. O estabelecimento das normas DRIS viabiliza a utilização da diagnose foliar como método de avaliação do estado nutricional de lavouras de palma forrageira ‘Gigante’, proporcionando que cada lavoura analisada tenha seu diagnóstico, podendo este ser de suficiência, de deficiência ou de excesso de algum(ns) nutriente(s) (GUINDANI et al., 2009).

CONCLUSÕES

Estabeleceram-se as normas DRIS para a palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em condições semiáridas do sudoeste da Bahia, com 66 relações entre nutrientes.

As normas DRIS estabelecidas viabilizam a utilização da diagnose foliar como método de avaliação do estado nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. 1.ed. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 11, p. 645-736.

ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 8-14,

2012.

ALVES, J. F. T. **Estabelecimento de faixas de suficiência para avaliação nutricional da palma forrageira 'Gigante'**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal Baiano, Guanambi, 2017.

ATTAR, S. K.; JOOLKA, N. K. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms for apple cv. Starking Delicious. **The Bioscan**, Jharkhand, v. 10, n. 3, p. 1287-1294, 2015.

BARROS, J. L. et al. Palma forrageira 'Gigante' cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 53-65, 2016.

BEAUFILS, E. R. Physiological diagnosis: a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. **Fertilizer Society of South Africa Journal**, Pretoria, v.1, p. 1-30, 1971.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**: a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p.

BLANCO-MACÍAS, F. et al. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, Weinheim, v. 173, n. 6, p. 927-934, 2010.

BLANCO-MACÍAS, F. et al. Comparación entre normas DNC y estándares nutrimentales de la técnica de curva límite: caso *Opuntia ficus-indica* L. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Chapingo, v. 15, n. 2, p. 217-223, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº. 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, OrganoMinerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação Geral de Apoio Laboratorial CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento na rede mundial de computadores, endereço eletrônico: www.agricultura.gov.br.
Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 31 jul. 2007. Seção 1.

CARNEIRO, A. et al. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) – first approach for the establishment of norms for vineyards in Portugal. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, Dois Portos, v. 30, n. 2, p. 53-59, 2015.

DONATO, P. E. R. et al. Nutrition and yield of ‘Gigante’ cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 12, p. 1083-1088, 2016.

DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014a.

DONATO, P. E. R. et al. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 163–172, 2014b.

DONATO, P. E. R. et al. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of 'Gigante' cactus pear under different spacing and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n. 4, p. 238-243, 2017a.

DONATO, S. L. R. et al. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017b.

GUIMARÃES, F. C. N. et al. Nutrients optimum range (NOR) based on DRIS method to assess the nutritional status of the first ratoon sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, Riverhills, v. 9, n. 7, p. 638-645, 2015.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 109-118, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3.rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 651p.

SERRA, A. P. et al. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) to assess the nutritional state of cotton crop in Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, Wuhan, v. 5, n. 4, p. 508-516, 2014.

SERRA, A. P. et al. Estabelecimento de normas DRIS para o algodoeiro com diferentes critérios de seleção da população de referência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 11, p. 1472-1480, 2013.

SERRA, A. P. et al. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 97-104, 2010.

SILVA, J. A. et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, suplemento, p. 866-875, 2012.

SILVA, J. A. et al. Extração/exportação de nutrientes pela palma forrageira 'Gigante' em diferentes espaçamentos e adubações químicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 236-242, 2016.

SILVA, J. T. A.; CARVALHO, J. G. Estabelecimento de normas DRIS para bananeira 'Prata Anã' (AAB) sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 43-51, 2006.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1.ed. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 5, p. 205-274.

SUMNER, M.; BEAUFILS, E. R. Diagnosis of the NPK requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils' System (DRIS): Preliminary observations. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, Pietermaritzburg, v. 49, p. 137-141, 1975.

URANO, E. O. M. et al. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1421-1428, 2006.

ARTIGO 2

VALORES DE REFERÊNCIA PARA DIAGNOSE NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ PELOS MÉTODOS DRIS E IBKW

VALORES DE REFERÊNCIA PARA DIAGNOSE NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ PELOS MÉTODOS DRIS E IBKW

RESUMO

Objetivou-se determinar valores de referência para diagnose nutricional de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas pelos métodos DRIS e IBKW. Utilizaram-se teores de nutrientes 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), foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, em delineamento em blocos casualizados e três repetições. O banco de dados foi separado em população de alta e baixa produtividade, acima e abaixo de 19.93 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹, respectivamente. Baseado na população de alta produtividade, foram calculados os índices DRIS para cada nutriente. A interpretação dos índices DRIS foi realizada pelo método do potencial de resposta à adubação. As cinco faixas dos teores de nutrientes nos cladódios foram definidas de acordo com a(s) faixa(s) de desvio padrão dos índices DRIS da população de alta produtividade. Por sua vez, com valores fixos dos IBKW, foi possível determinar os limites inferior e superior dos valores de referência dos teores de nutrientes nos cladódios. Os valores de referência gerados pelos métodos DRIS e IBKW diferem entre si e da literatura, para todos os nutrientes. Os métodos DRIS e IBKW são eficientes na identificação dos nutrientes limitantes para palma forrageira ‘Gigante’, havendo diferenças na ordem hierárquica da limitação, por falta ou por excesso, e dos nutrientes não limitantes à produtividade. O método DRIS é recomendado para o diagnóstico de macronutrientes.

Palavras-chave: *Opuntia*. Teores ótimos. Fertilidade. Fertilização orgânica.

REFERENCE VALUES FOR NUTRITIONAL DIAGNOSIS OF ‘GIGANTE’ CACTUS PEAR BY DRIS AND IBKW METHODS

ABSTRACT

It is been objected to determine reference values for evaluating the nutritional status of ‘Gigante’

cactus pear cultivated with organic fertilization in semiarid conditions by DRIS and IBKW methods. It was used cladodes nutrients contents and dry matter yield (DMY) of 72 plots of one experiment with four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha⁻¹ year⁻¹), three spacings (1.00 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), arranged in a 4 x 3 x 2 factorial experiment, in randomized blocks design and three replicates. The database was separated into a high-yield and low-yield population, above and below 19.93 Mg ha⁻¹ cycle⁻¹, respectively. Based on the high-yield population, the DRIS indices were calculated for each nutrient. The interpretation of the DRIS indices has been performed by the nutrient application potential response method. The five ranges of nutrient contents in cladodes have been defined according to the standard deviation range (s) of the DRIS indices of the high-yield population. In addition, with fixed IBKW values, it was possible to determine the lower and the upper limit of the reference values of nutrient contents in the cladodes. The reference values generated by the DRIS and IBKW methods differ from each other and from the literature, for all nutrients. The DRIS and IBKW methods are efficient in identifying the limiting nutrients for ‘Gigante’ cactus pear, with differences in hierarchical order of limitation, due to lack or excess, and nutrients not limiting to productivity. The DRIS method is recommended for the diagnosis of macronutrients.

Keywords: *Opuntia*. Optimal range. Fertility. Organic fertilization.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma cultura adaptada às condições adversas do semiárido devido as suas características morfológicas e fisiológicas, primordialmente, devido ao metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) (DONATO et al., 2014a). A cultura representa uma solução viável para a alimentação de rebanhos nos períodos de estiagem devido a boa produção de matéria seca por hectare, alto teor de carboidratos não fibrosos, boa aceitabilidade, digestibilidade e bom valor energético (ALMEIDA, 2012). O Brasil tem uma produção de 3.58 milhões de toneladas da cultura, sendo a Bahia o maior produtor, responsável por 42% dessa produção. A palma figura entre as quatro culturas mais importantes do estado (IBGE, 2017).

O potencial produtivo da palma forrageira é máximo quando as relações adequadas de nutrientes proporcionam o desenvolvimento normal da cultura. Conhecer o balanço e equilíbrio

nutricional das plantas é importante para avaliar o potencial de rendimento (SERRA et al., 2010). A diagnose foliar é utilizada como complemento à análise química do solo e à diagnose visual e reflete a dinâmica dos nutrientes no sistema-solo-planta. O seu entendimento contribui para um cultivo sustentável e economicamente viável (DONATO et al., 2017b). A concentração foliar dos nutrientes é considerada, atualmente, como o mais pertinente e confiável método para julgar o estado nutricional das plantas por representar a condição *in situ* de forma holística. Diversos métodos tem demonstrado a natureza dinâmica da composição de nutrientes no tecido vegetal (ATTAR et al., 2015).

A combinação específica de teores de nutrientes, para a obtenção de produtividade elevada tem sido considerada em métodos como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (KURIHARA, 2004). O DRIS, método desenvolvido por Beaufils (1973), usa as relações duais entre nutrientes com base nas normas (relações ótimas), permitindo avaliar o grau de equilíbrio dos nutrientes na planta (GUIMARÃES et al., 2015). O fato de considerar a própria planta como extrator dos nutrientes do solo permite uma avaliação direta do seu estado nutricional e indireta da fertilidade do solo, baseando-se na premissa de existir relação entre o suprimento de nutrientes pelo solo e os seus teores na planta (BEAUFILS, 1971).

A interpretação dos resultados da análise foliar através de métodos univariados como os Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW) é comum. O método proposto por Kenworthy em 1961, é embasado na proporção entre o teor de um nutriente em uma amostra e o nível crítico. Nesse método são obtidos parâmetros estatísticos, média e coeficiente de variação, do grupo de alta produtividade para serem utilizados como normas. Para isso, são criadas classes com base nos valores obtidos na população de alta produtividade, aceitando uma variabilidade, expressa pelo coeficiente de variação, que influencia significativamente a sensibilidade dos diagnósticos produzidos (FERNANDES, 2010). A metodologia consiste em transformar os valores dos resultados de análise foliar para porcentagens de valores padrões. Assim como o sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), os Índices Balanceados de Kenworthy permitem dispor os nutrientes em sequências de ordem de limitação (RIBEIRO, 2008).

Os trabalhos que determinaram valores de referência para a palma forrageira pelos métodos de diagnose nutricional são escassos. Blanco-Macías et al. (2009, 2010) determinaram faixas de suficiência para a cultura pelos métodos Diagnose da Composição Nutricional (CND) e Linha de Fronteira para condições edafoclimáticas no México; Alves (2017) estabeleceu padrões interpretativos para os teores de nutrientes nos cladódios pelos métodos da Chance

Matemática (ChM) e Faixa de Suficiência; e Donato et al. (2017b), para os atributos químicos do solo cultivado com palma forrageira ‘Gigante’ pelos métodos da Faixa de Suficiência e Nível Crítico pela distribuição normal reduzida (NCRIz) nas condições semiáridas na Bahia.

Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho determinar valores de referência para diagnose nutricional de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia pelos métodos DRIS e IBKW.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com palma forrageira ‘Gigante’ foi conduzido num solo classificado originalmente como 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”S, longitude 42°46’53”W, com médias anuais de precipitação de 680 mm e temperatura de 26 °C.

Foram utilizados no presente estudo dados básicos de Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016). Utilizaram-se os teores de macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na) determinados em amostras coletadas em cladódios recém maduros; a produtividade de matéria seca (PMS) e a extração de nutrientes 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), foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Conforme Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016), o esterco utilizado apresentava, em média, em base seca (65 °C) umidade de 16.72%, teor de matéria orgânica de 63.73 g kg⁻¹ e os seguintes teores de macronutrientes (g kg⁻¹): Ca = 1.7, Mg = 0.2, K = 2.5, N = 5.2, S = 2.3 (EPA 3051 / APHA 3120B) e P = 4.7 (APHA 4500-PC); e micronutrientes (mg kg⁻¹): B = 2.1, Cu = 45.2, Zn = 200.5, Mn = 391.8 e Fe = 1,932.4 (EPA 3051 / APHA 3120B). O pH era 7.42 (Método oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2007)), e a densidade, 0.38 g cm⁻³.

A descrição dos atributos do solo da área experimental antes do plantio do palmar encontra-se em Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016). Sendo: P = 16.33

mg dm⁻³; K⁺ = 0.29, Ca⁺² = 2.02, Mg⁺² = 0.90, Al⁺³ = 0.16, H⁺ = 1.69, Na⁺ = 0.04, SB = 3.21, t = 3.36 e T = 5.05 cmol_c dm⁻³; V = 63.14, m = 4.86 e PST = 0.67 %; M.O = 14.67 g dm⁻³; Cu⁺⁺ = 0.36, Mn⁺⁺ = 17.61, Zn⁺⁺ = 1.42 e Fe⁺⁺ = 6.32 mg dm⁻³; e, pH = 5.42. Nas colheitas do primeiro (DONATO et al., 2014a) e segundo ciclos de produção (BARROS et al., 2016) preservaram-se três cladódios primários.

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, 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 Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG – URENM). Os resultados das análises químicas do tecido vegetal para N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, juntamente com os respectivos resultados de produtividade, foram organizados e processados em planilha eletrônica Microsoft Excel[®].

De acordo com Beaufls (1973), para determinação dos valores de referência, o banco de dados foi separado em uma população de alta (PAP) e outra de baixa produtividade (PBP), acima e abaixo de 19.93 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de matéria seca, respectivamente. O critério usado para separar as populações foi a média de produtividade de matéria seca das 72 parcelas. Após a definição da população de alta produtividade, a distribuição de normalidade das produtividades das parcelas selecionadas foi testada com o teste de Lilliefors.

Com base na população de alta produtividade, foram calculados os índices DRIS para cada nutriente, usando-se para esses cálculos a fórmula geral proposta por Beaufls (1973), sendo para um nutriente A:

$$IA = \frac{\sum_{i=1}^n f\left(\frac{A}{B_i}\right) - \sum_{j=1}^m f\left(\frac{B_j}{A}\right)}{n + m}$$

em que,

IA = índice DRIS do nutriente;

$\sum_{i=1}^n f(A/B_i)$ = somatória das funções em que o nutriente “A” encontra-se no numerador;

$\sum_{i=1}^n f(B_j/A)$ = somatória das funções em que o nutriente “A” encontra-se no denominador;

n = número de vezes que o nutriente aparece no numerador;

m = número de vezes que o nutriente aparece no denominador.

O valor das funções intermediárias f(A/B), que definem o relacionamento entre a relação

na amostra com a relação na população, foi calculado pela fórmula de Jones (1981):

$$f(A/B) = [(A/B) - (a/b)] / s$$

em que,

A/B = relação dual entre os teores dos nutrientes A e B na parcela sob diagnose;

a/b = média das relações duais entre os teores dos nutrientes A e B na população de alta produtividade;

s = desvio-padrão das relações duais dos nutrientes A e B na população de alta produtividade;

f(A/B) = afastamento estudentizado entre o valor da relação dual dos nutrientes A e B na lavoura sob diagnose (A/B) e a média do valor da relação dual entre os nutrientes A e B da população de alta produtividade (a/b), expresso em unidades de desvio-padrão.

Após a determinação do índice DRIS de cada nutriente, foi calculado o índice de balanço nutricional (IBN) e o índice de balanço nutricional médio (IBNm). O IBN foi determinado pelo somatório dos valores absolutos dos índices gerados para a amostra, obtidos para cada nutriente, e o IBNm foi obtido pelo IBN de cada amostra dividido pelo número de nutrientes que participam do cálculo.

A interpretação dos índices DRIS foi realizada pelo método do potencial de resposta à adubação (PRA), a partir de cinco classes (WADT, 2005): PRA nulo (z) = $|Inut| < IBNm$; PRA positivo ou nulo (pz) = $|Inut| > IBNm$, desde que $Inut < 0$; PRA positivo (p) = $|Inut| > IBNm$, desde que o Inut avaliado seja o menor índice DRIS entre os demais nutrientes; PRA negativo ou nulo (nz) = $|Inut| > IBNm$, desde que $Inut > 0$; e PRA negativo (n) = $|Inut| > IBNm$, desde que o Inut avaliado seja o maior índice DRIS entre os demais nutrientes. Foi determinada a frequência com que cada nutriente foi identificado em cada classe. Tanto o IBNm quanto o Inut são adimensionais.

As classes de potencial de resposta à adubação (p, pz, z, nz, e n) foram agrupadas em três classes de estado nutricional: a resposta de adubação positiva (p) e positiva ou nula (pz) foram reduzidas à limitante por falta (LF); nula (z), à não limitante (NL); e negativa (n) e negativa ou nula (nz), à limitante por excesso (LE), conforme Silva et al. (2005).

As cinco faixas dos teores de nutrientes nos cladódios foram definidas de acordo com a (s) faixa (s) de desvio padrão dos índices DRIS da população de alta produtividade, onde, estado nutricional deficiente: $< - 4/3 s$; baixo: $- 4/3 s$ a $- 2/3 s$; normal: $- 2/3 s$ a $2/3 s$; alto: $2/3 s$ a $4/3 s$

s; e, excessivo: $\geq 4/3$ s (BEAUFILS, 1973).

Por sua vez, os índices padrão (P, I e IBKW, todos expressos em percentagem), foram calculados a partir da população de alta produtividade, independentemente do teor do nutriente na amostra (y_i) ser maior ou menor do que o teor médio da população de referência, considerado padrão (\bar{y}), segundo método ajustado por Alvarez V. e Leite (1999), a partir de Kenworthy (1973) (KURIHARA, 2004).

$$P = 100 y_i / \bar{y}$$

$$I = CV (y_i - \bar{y}) / \bar{y}$$

$$IBKW = P - I$$

em que,

P = proporção entre o teor do nutriente na amostra (y_i) e o teor padrão (\bar{y});

I = influência da variação;

CV = coeficiente de variação do teor do nutriente na população de alta produtividade;

IBKW = Índices Balanceados de Kenworthy.

De acordo com o valor obtido para os Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW), o teor do nutriente na amostra foi classificado em deficiente (<50%), abaixo do normal (50 a 83%), normal (83 a 117%), acima do normal (117 a 150%) e excessivo (>150%). As cinco classes de frequência relativa foram agrupadas em três: as classes deficiente e abaixo do normal foram reduzidas à limitante por falta (LF); normal, à não limitante (NL); e acima do normal e excessivo, à limitante por excesso (LE), análogo ao DRIS.

De forma semelhante, com valores fixos dos índices (IBKW), foi possível determinar o limite inferior (L_i) e o limite superior (L_s) dos valores de referência dos teores de nutrientes nos cladódios utilizando a equação abaixo. Foram estabelecidas cinco classes. Para a classe deficiente, L_s : IBKW = 50; baixo, L_i : IBKW = 50 e L_s : IBKW = 83; normal, L_i : IBKW = 83 e L_s : IBKW = 117; alto, L_i : IBKW = 117 e L_s : IBKW = 150; excessivo, L_i : IBKW = 150 (FERNANDES, 2010). O valor médio (100%) dos Índices Balanceados na classe normal foi utilizado para a definição do teor ótimo do nutriente.

$$X_i = \bar{x}_i \frac{(CV_i - IBK \quad)}{(CV_i - 100)}$$

em que,

X_i = teor do nutriente i no limite inferior ou superior da classe;

CV_i = coeficiente de variação do nutriente i ;

\bar{x}_i = média presente na norma do nutriente i ;

IBKW = valores fixos dos IBKW para determinar os limites inferior ou superior da classe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os macronutrientes P e S e todos os micronutrientes, exceto B, apresentaram coeficiente de variação superior a 30%, sendo o Mn (80.71%) o nutriente que apresentou o maior CV (Tabela 1). Outros trabalhos, Kurihara (2004) e Rocha (2008), utilizaram os IBKW para diagnosticar o estado nutricional de lavouras. Esses autores concluíram que nas situações de maior coeficiente de variação do teor do nutriente na população de referência, 40% (KURIHARA, 2004) e 30% (ROCHA, 2008), houve grande decréscimo na sensibilidade da diagnose, visto que os valores de referência assumem maiores amplitudes em situações de maior coeficiente de variação.

Tabela 1. Valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV, %) para a concentração de nutrientes e teor ótimo determinado pelas equações de relação entre o índice DRIS e o teor do nutriente no cladódio e pelo método dos Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW) em lavoura de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia, para a população de alta produtividade.

Nutriente	Média	DP	CV(%)	Teor ótimo	
				DRIS	IBKW
N (g kg ⁻¹)	15.62	2.86	18.33	15.62	15.62
P (g kg ⁻¹)	1.46	0.67	45.71	1.46	1.46
K (g kg ⁻¹)	37.89	7.84	20.69	37.95	37.89
S (g kg ⁻¹)	1.57	0.50	32.04	1.57	1.57
Ca (g kg ⁻¹)	28.03	4.83	17.22	27.99	28.03
Mg (g kg ⁻¹)	11.88	3.01	25.30	11.88	11.88
B (mg kg ⁻¹)	27.50	5.18	18.84	27.47	27.50
Cu (mg kg ⁻¹)	2.89	1.41	48.96	2.89	2.89
Fe (mg kg ⁻¹)	93.89	54.51	58.06	94.16	93.89
Mn (mg kg ⁻¹)	383.82	309.80	80.71	388.88	383.82
Zn (mg kg ⁻¹)	46.18	19.46	42.14	46.21	46.18
Na (mg kg ⁻¹)	43.01	21.95	51.04	42.96	43.01

Fonte: Elaboração do autor.

A partir dos modelos lineares ajustados para o teor de nutrientes nos cladódios em função do índice DRIS e o valor médio (100%) dos Índices Balanceados de Kenworthy, na

classe normal, foi possível obter o teor ótimo para cada nutriente (Tabela 1). Para os dois métodos, os valores do teor ótimo obtidos são iguais ou muito próximos, não diferindo entre si pelo teste t ($p < 0.01$). De acordo com Urano et al. (2007), em todos os nutrientes avaliados, o teor ótimo estimado pelo relacionamento dos índices DRIS com os teores foliares correspondeu ao teor médio na população de alta produtividade, confirmando a distribuição normal das relações duais, tendo em vista que, nesta condição, a média é igual a mediana.

Observa-se alta variação na produtividade de matéria seca, de 11.96 até 44.96 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$, com média de 19.93 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ e coeficiente de variação de 22.35%. A população de alta produtividade apresentou média de 26.53 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$. As populações de alta e de baixa produtividade foram constituídas de 32 e 40 amostras, respectivamente. Conforme Chacón-Prado et al. (2013), a população de alta produtividade deve corresponder a pelo menos 10% do banco de dados para garantir as diferenças significativas entre as populações de baixa e alta produtividade.

Os modelos estatísticos que representam o ajuste entre os IBKW e os teores de cada nutriente foram todos significativos ($p < 0.01$) (Tabela 2). Pelo método DRIS, as relações entre os índices e as concentrações de N, P, S, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e Na foram positivas e significativas a 1% de probabilidade. A relação entre o índice DRIS e a concentração de K foi positiva e significativa a 5% de probabilidade. Já os ajustes para Ca e B foram não-significativos ($p > 0.05$). Pelo método DRIS, no caso de N, P, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, os coeficientes de determinação foram mais elevados ($R^2 > 0.50$), demonstrando que o índice DRIS foi dependente do teor do próprio nutriente no cladódio. Já para K, Ca, Mg e B houve baixa relação entre essas variáveis, o que indica menor dependência dos índices DRIS desses nutrientes em relação ao seu teor no cladódio. Nesse caso, existe uma maior dependência das concentrações dos demais nutrientes que compõe o índice DRIS na formação do índice DRIS desses nutrientes, em relação aos demais (GUINDANI et al., 2009).

Semelhante aos estudos de Serra et al. (2012), os micronutrientes apresentaram maior coeficiente de determinação (R^2) que os macronutrientes, exceto para B, no método DRIS. Diferente do índice DRIS, onde o índice do nutriente depende do teor de outros nutrientes, as relações entre os IBKW e a concentração do nutrientes apresentaram R^2 de 1.00, demonstrando que o erro foi o menor possível, não interferindo na significância do modelo matemático ($p < 0.01$).

Tabela 2. Modelos estatísticos usados para ajuste entre os teores de nutrientes nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ e os índices DRIS e IBKW, em parcelas de alta produtividade.

Nutriente	DRIS		IBKW	
	Equação	R ²	Equação	R ²
N	$N = 15.6188 + 2.7140^{**}I_N$	0.54	$N = - 3.5045 + 0.1912^{**}I_N$	1.00
P	$P = 1.4625 + 0.8770^{**}I_P$	0.77	$P = - 1.2314 + 0.0269^{**}I_P$	1.00
K	$K = 37.8906 + 6.7164^{**}I_K$	0.14	$K = - 9.8864 + 0.4778^{**}I_K$	1.00
S	$S = 1.5719 + 0.7584^{**}I_S$	0.58	$S = - 0.7412 + 0.0231^{**}I_S$	1.00
Ca	$Ca = 28.0281 + 2.1953^{ns}I_{Ca}$	0.04	$Ca = - 5.8314 + 0.3386^{**}I_{Ca}$	1.00
Mg	$Mg = 11.8844 + 2.8634^{**}I_{Mg}$	0.43	$Mg = - 4.0253 + 0.1591^{**}I_{Mg}$	1.00
B	$B = 27.4959 + 2.9605^{ns}I_B$	0.12	$B = - 6.3834 + 0.3388^{**}I_B$	1.00
Cu	$Cu = 2.8878 + 1.7937^{**}I_{Cu}$	0.82	$Cu = - 2.7699 + 0.0566^{**}I_{Cu}$	1.00
Fe	$Fe = 93.8897 + 57.3785^{**}I_{Fe}$	0.77	$Fe = - 129.9822 + 2.2387^{**}I_{Fe}$	1.00
Mn	$Mn = 383.8209 + 315.1045^{**}I_{Mn}$	0.83	$Mn = -1606.2740 + 19.9009^{**}I_{Mn}$	1.00
Zn	$Zn = 46.1844 + 28.9165^{**}I_{Zn}$	0.77	$Zn = - 33.6348 + 0.7982^{**}I_{Zn}$	1.00
Na	$Na = 43.0141 + 22.8917^{**}I_{Na}$	0.78	$Na = - 44.8333 + 0.8785^{**}I_{Na}$	1.00

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} não-significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Existe uma relação positiva entre os teores de todos os nutrientes nos cladódios e os respectivos índices DRIS e IBKW (Tabela 2). Serra et al. (2012) e Guimarães et al. (2015) observaram que os teores de nutrientes nas folhas aumentam na mesma proporção em que o valor do índice DRIS muda de negativo para valor positivo. Os índices DRIS próximos a zero indicam que o nutriente está em equilíbrio e quanto mais distante de zero, maior o desequilíbrio nutricional. O índice DRIS abaixo e acima de zero revela deficiência e excesso, respectivamente (BEAUFILS, 1973).

Baseado na relação entre os índices DRIS, IBKW e os teores de nutrientes nos cladódios da população de alta produtividade, determinaram-se os valores de referência de nutrientes para a palma forrageira ‘Gigante’. Para os dois métodos, os valores de referência foram decompostos em cinco classes para avaliação nutricional da cultura. Esses valores de referência são associadas às produtividades de massa seca de 22.6 à 30.5 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹, no método DRIS, e 20.7 à 32.3 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹, nos IBKW (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de referência determinados pelos métodos DRIS e Índices Balanceados de Kenworthy (IBKW) em lavoura de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica

em condições semiáridas da Bahia.

Nutriente	Método	Valores de Referência				
		Deficiente ¹	Baixo ¹		Normal	Alto
$g\ kg^{-1}$						
N	DRIS	< 14.6	14.6 - 15.1	15.1 - 16.1	16.1 - 16.7	≥ 16.7
	IBKW	< 6.1	6.1 - 12.4	12.4 - 18.9	18.9 - 25.2	≥ 25.2
P	DRIS	< 0.6	0.6 - 1.0	1.0 - 1.9	1.9 - 2.4	≥ 2.4
	IBKW	< 0.1	0.1 - 1.0	1.0 - 1.9	1.9 - 2.8	≥ 2.8
K	DRIS	< 37.3	37.3 - 37.6	37.6 - 38.2	38.2 - 38.47	≥ 38.5
	IBKW	< 14.0	14.0 - 29.8	29.8 - 46.0	46.0 - 61.8	≥ 61.8
S	DRIS	< 0.9	0.9 - 1.2	1.2 - 1.9	1.9 - 2.2	≥ 2.2
	IBKW	< 0.4	0.4 - 1.2	1.2 - 2.0	2.0 - 2.7	≥ 2.7
Ca	DRIS	< 27.4	27.4 - 27.7	27.7 - 28.3	28.3 - 28.6	≥ 28.6
	IBKW	< 11.1	11.1 - 22.3	22.3 - 33.8	33.8 - 45.00	≥ 45.0
Mg	DRIS	< 11.0	11.0 - 11.4	11.4 - 12.3	12.3 - 12.8	≥ 12.8
	IBKW	< 3.9	3.9 - 9.2	9.2 - 14.6	14.6 - 19.8	≥ 19.8
$mg\ kg^{-1}$						
B	DRIS	< 26.7	26.7 - 27.1	27.1 - 27.9	27.9 - 28.3	≥ 28.3
	IBKW	< 10.6	10.6 - 21.7	21.7 - 33.3	33.3 - 44.4	≥ 44.4
Cu	DRIS	< 1.9	1.9 - 2.4	2.4 - 3.4	3.4 - 3.8	≥ 3.8
	IBKW	< 0.1	0.1 - 1.9	1.9 - 3.8	3.8 - 5.7	≥ 5.7
Fe	DRIS	< 92.8	92.8 - 93.3	93.3 - 94.4	94.4 - 95.0	≥ 95.0
	IBKW	< 0.0	0.0 - 55.8	55.8 - 131.9	131.9 - 205.8	≥ 205.8
Mn	DRIS	< 382.6	382.6 - 383.2	383.2 - 384.4	384.4 - 385.0	≥ 385.0
	IBKW	< 0.0	0.0 - 45.5	45.5 - 722.1	722.1 - 1378.9	≥ 1378.9
Zn	DRIS	< 45.4	45.4 - 45.8	45.8 - 46.6	46.6 - 47.0	≥ 47.0
	IBKW	< 6.3	6.3 - 32.6	32.6 - 59.8	59.8 - 86.1	≥ 86.1
Na	DRIS	< 41.9	41.9 - 42.4	42.4 - 43.6	43.6 - 44.1	≥ 44.1
	IBKW	< 0.0	0.0 - 28.1	28.1 - 57.9	57.9 - 86.9	≥ 86.9

¹. Valores negativos foram substituídos por zero.

Fonte: Elaboração do autor.

Os valores de referência obtidos pelos IBKW são mais amplos que os valores de referência obtidos pelo DRIS, para todas as classes e nutrientes. Serra et al. (2010) também estimaram a amplitude dos valores de referência, pelo método DRIS, menor que outros valores encontrados na literatura. Quando é ampla, a possibilidade de obter o teor de nutriente no cladódio de uma amostra dentro dessa faixa é muito alta. Por outro lado, quando a faixa é estreita, essa possibilidade diminui e o resultado é mais preciso (GUIMARÃES et al., 2015). Segundo Dias et al. (2013), quanto menor o desvio padrão entre os teores médios nutricionais da população de alta produtividade, proporcionalmente menores serão os valores de referência estimados. Nesse sentido, aumenta-se a capacidade do DRIS na identificação das parcelas sob desequilíbrio nutricional comparativamente a utilização dos IBKW com maiores amplitudes, corroborando com Rocha (2008), que verificou ser o método IBKW menos sensível para diagnósticos de nutrientes cujas normas apresentam CV maior que 30%, principalmente para

detectar situações de deficiência. Nesses casos, os valores de referência teriam que assumir valores bizarros ou até negativos para que os teores dos nutrientes sejam considerados deficientes, como ocorreu para Fe, Mn e Na. Dessa forma, o método IBKW é menos sensível em distinguir plantas deficientes quando o CV é superior a 30%, particularmente para micronutrientes.

Os valores de referência obtidos neste trabalho diferem daqueles propostos por Alves (2017) e Donato et al. (2017b) pela técnica da Faixa de Suficiência. Para todos os nutrientes avaliados, exceto P, observa-se que os limites das classes deficiente, baixo e o limite inferior da classe normal, obtidos pelo método DRIS, são superiores. Para P, os limites da classe deficiente e inferior da classe baixo (0.6 g kg^{-1}) são iguais aos encontrados pelos autores citados. Enquanto os valores do limite superior da classe normal e os limites das classes alto e excessivo são inferiores, exceto P (1.9 g kg^{-1}) e S (1.9 g kg^{-1}), que é superior e igual, respectivamente, ao proposto por Alves (2017) e Donato et al. (2017b).

Donato et al. (2016), em solo com 16.3 mg dm^{-3} de P constataram teores de 1.3 g kg^{-1} e 1.7 g kg^{-1} , sem e com aplicação de 30 Mg ha^{-1} de esterco, respectivamente, e 2.0 g kg^{-1} e 2.5 g kg^{-1} com aplicação de 60 e 90 Mg ha^{-1} . Houve, também, incremento no fósforo remanescente, e, de 41.8 para 45.0 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 faixa de suficiência, o que pode caracterizar consumo do luxo. Paralelamente, o P é um macronutriente de baixa exportação na matéria seca pela palma, 2.1 kg Mg^{-1} (DONATO et al., 2017b) e de baixa resposta à aplicação (DUBEUX JR., 2010).

Pelos IBKW, exceto para P e S, os limites da classe deficiente, baixo e o limite inferior da classe normal são inferiores aos obtidos por Alves (2017) e Donato et al. (2017b). Para P (1.0 g kg^{-1}) e S (1.2 g kg^{-1}), os valores a partir dos limites superiores da classe baixo são mais altos em relação aos respectivos limites determinados pelos autores. Os mesmos valores correspondem ao limite inferior da classe seguinte, sendo igual para P e superior para S. De forma semelhante, o limite superior da classe normal, e os limites da classe alto e excessivo são superiores pelos IBKW em comparação a Alves (2017) e Donato et al. (2017b), exceto para N (18.9 g kg^{-1}) e S (2.0 g kg^{-1}), de valores iguais, no limite superior da classe normal e inferior da classe alto, respectivamente. De modo geral, para P e S, os limites inferior e superior das classes, determinados pelos dois métodos, são próximos e semelhantes aos propostos por Alves (2017) e Donato et al. (2017b). Justifica-se essa coincidência em função do maior aporte desses nutrientes pela matéria orgânica, mesmo apresentando alto CV, P (45.71%) e S (32.04%).

A faixa de suficiência proposta por Blanco-Macías et al. (2010) para N ($8.4 - 20.3 \text{ g kg}^{-1}$) é mais ampla que os valores encontrados pelo método DRIS e mais estreita em relação aos IBKW. Para P, o valor obtido no limite superior da classe alto, pelo DRIS, corresponde ao limite inferior da faixa proposta por Blanco-Macías et al. (2010), $2.4 - 4.2 \text{ g kg}^{-1}$. Esse valor, situa-se, também, na classe alto, pelos IBKW. Donato et al. (2017b) justificaram as diferenças entre as faixas por eles encontradas e as de Blanco-Macías et al. (2010) em razão das condições edafoclimáticas locais. Contudo as diferenças justificam-se também pelas diferenças entre os métodos, pois esses autores utilizaram o método da Linha de Fronteira.

Para K, o limite inferior da faixa de suficiência proposta por Blanco-Macías et al. (2010), 38.2 g kg^{-1} , classifica-se na classe normal, na faixa encontrada neste trabalho com uso dos IBKW, e é igual ao limite superior e inferior das classes normal e alto, respectivamente, encontrado com o método DRIS. Os valores propostos por Blanco-Macías et al. (2010) para Ca ($31.8 - 45.2 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($14.3 - 20.9 \text{ g kg}^{-1}$) são excessivos, segundo o método DRIS, e, pelos IBKW, os valores compreendem as faixas normal até excessivo. 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.

Comparando os valores obtidos neste trabalho, pelos métodos DRIS e IBKW, com os valores de Chance Matemática (ChM) estabelecidos por Alves (2017), observa-se que as maiores ChM para N ($15.5 - 19.7 \text{ g kg}^{-1}$) compreendem valores entre a faixa normal e excessivo, pelo método DRIS, e, normal e alto, pelos IBKW. O limite inferior da ChM, para P (0.46 g kg^{-1}), é menor que os limites inferiores estabelecidos para os dois métodos. Ainda para P, o limite superior (1.71 g kg^{-1}) da ChM situa-se na classe normal, nos dois métodos. As ChM registradas para K ($33.74 - 39.72 \text{ g kg}^{-1}$) e Ca ($25.00 - 29.06 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($7.46 - 13.95 \text{ g kg}^{-1}$) são mais amplas que os valores estabelecidos pelo método DRIS e seriam todas situadas na classe normal, determinada pelos IBKW, exceto o limite inferior determinado para Mg pela ChM, que coincide com o intervalo da classe baixo. Nesse sentido, as ChM, para esses nutrientes, seriam incapazes de identificar classes do estado nutricional utilizando os valores de referência gerados pelos IBKW. Para S, o limite inferior (1.05 g kg^{-1}) observado pela ChM situa-se na classe baixo e o limite superior (1.82 g kg^{-1}), na classe normal, nos dois métodos.

Referente aos micronutrientes, o limite inferior da ChM estabelecido para B (20.36 mg kg^{-1}), Cu (1.81 mg kg^{-1}), Fe (35.87 mg kg^{-1}), Mn (54.84 mg kg^{-1}), Zn (19.72 mg kg^{-1}) e Na (26.62 mg kg^{-1}) é inferior ao limite da classe deficiente do respectivo nutriente, determinada pelo DRIS. Para B, os valores da ChM, são compreendidos na faixa de suficiência de Alves

(2017) e Donato et al. (2017b). O limite superior, situa-se, para Fe (85.31 mg kg^{-1}) e Mn ($252.23 \text{ mg kg}^{-1}$), na classe deficiente; Cu (2.78 mg kg^{-1}) e Na (42.75 mg kg^{-1}), na classe normal; B (27.94 mg kg^{-1}), na classe alto, e, Zn (48.55 mg kg^{-1}), na classe, excessivo. Comparando os limites inferiores, da ChM, estabelecidos por Alves (2017), com os valores de referência encontrados pelos IBKW, todos os micronutrientes, exceto Mn, situam-se na classe baixo. Para Mn (54.85 mg kg^{-1}), o valor encontrado situa-se na classe normal. Os limites superiores, para todos os micronutrientes, situam-se na classe normal.

Alves (2017) e Donato et al. (2017b) utilizaram o método do NCRIZ (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001) para determinar os níveis críticos dos nutrientes nos cladódios. Os NCRIZ para N (14.4 g kg^{-1}), P (1.0 g kg^{-1}), K (31.9 g kg^{-1}), S (1.1 g kg^{-1}), Ca (24.6 g kg^{-1}), Mg (10.2 g kg^{-1}), B (23.7 mg kg^{-1}), Cu (1.6 mg kg^{-1}), Fe (62.0 mg kg^{-1}), Mn (111.0 mg kg^{-1}), Zn (30.3 mg kg^{-1}) e Na (19.4 mg kg^{-1}) estão abaixo do limite da classe deficiente, determinada pelo método DRIS, exceto P e S, que situam na classe baixo. Pelos IBKW, os NCRIZ para P, S, Cu, Zn e Na seriam classificados como baixo, os demais, na classe normal. Entretanto, os autores utilizaram a média da produtividade de matéria seca + 0.5 desvio padrão, para separar as parcelas de alta e de baixa produtividade, critério diferente deste trabalho. Diferentes procedimentos podem ser utilizados para definir a população de referência e podem resultar em normas distintas, com diferentes eficácias (SERRA et al., 2013).

Além disso, o nível crítico de fósforo no solo é variável com a capacidade de adsorção do elemento (NOVAIS et al., 2007). A ordem decrescente de extração/exportação dos macronutrientes pela palma forrageira foi (kg Mg^{-1}): K (37.7), Ca (27.9), N (15.7), Mg (11.8), concordando com a sequência inicial de Donato et al. (2017a). S (1.5 kg Mg^{-1}) e P (1.4 kg Mg^{-1}) foram os macronutrientes de menor exportação. De maneira idêntica a Donato (2011), a ordem decrescente de extração/exportação dos micronutrientes foi (g Mg^{-1}): Mn (356.7), Fe (98.2), Zn (45.5), Na (44.1), B (27.2) e Cu (2.8).

Dado o exposto, os valores de referência, determinados pelo método DRIS, são mais adequados à avaliação do estado nutricional de macronutrientes por apresentar menor amplitude em relação aos valores de referência estabelecidos pelos IBKW e a Faixa de Suficiência proposta por Alves (2017) e Donato et al. (2017b). Não somente, mas também por apresentar semelhança nos limites inferior e superior das classes para P e S, determinados pelos métodos DRIS e IBKW, e aos propostos por Alves (2017) e Donato et al. (2017b). Para esses macronutrientes, os NCRIZ estão incluídos nos valores de referência determinados pelo DRIS. Salienta-se ainda que o NCRIZ para N é próximo ao limite inferior da classe deficiente,

determinada pelo DRIS. Nachtigall e Dechen (2007) citam que o método DRIS apresentou desempenho semelhante ao critério de faixa de suficiência com a vantagem de apresentar os valores de IBN, que indicam o estado de equilíbrio nutricional das plantas, e pela eficiência no diagnóstico nutricional da cultura.

Igualmente, o DRIS é mais adequado à avaliação do estado nutricional de micronutrientes se comparado aos IBKW. Entretanto, diversos fatores influenciam na absorção e extração dos micronutrientes em razão da complexidade da sua dinâmica no sistema solo-planta (ABREU et al., 2007). Assim, analisá-los utilizando o método DRIS, de menor amplitude em relação aos IBKW, pode dificultar a diagnose. Pelos IBKW, os NCR_{Iz} para Cu, Zn e Na seriam classificados como baixo, os demais, na classe normal. Ademais, os valores negativos para os limites da classe deficiente e inferior da classe baixo, pelo método IBKW, podem comprometer o diagnóstico para Fe, Mn e Na. Alves (2017) e Donato (2017b) utilizaram um coeficiente k, fator de correção para diminuir a amplitude da faixa conforme Martinez et al. (2003) para os casos de nutrientes com alta variabilidade, caso muito comum para os micronutrientes em tecidos, com CVs acima de 20%, o que contribuiu para estreitar as faixas.

Observa-se que a maioria dos nutrientes situou-se, em maior percentual, na classe adequada de diagnose (NL) (Tabela 4). A exceção foi o Fe que apresentou deficiência em 37.5% dos casos, quando avaliado pelo critério de classes de resposta à adubação. A sua disponibilidade no solo é afetada pelo pH, desequilíbrio na relação com outros micronutrientes, como Mn, Cu e Mo, excesso de P, teor de argila, material de origem e potencial de oxirredução. Esses fatores podem contribuir para interferência no contato íon-raiz (ABREU et al., 2007), na consequente absorção e no seu teor nos tecidos dos cladódios de palma forrageira. Embora, para as determinações dos índices DRIS e IBKW, tenha usado dados da população de alta produtividade, verifica-se que para todos os nutrientes existe limitação por falta e por excesso. Beaufils (1973) afirma que a deficiência de um nutriente tem efeito maior na produtividade que o excesso. Nesse sentido, haveria potencial de resposta à adubação nas parcelas onde os nutrientes foram considerados como limitantes à produtividade, de resposta positiva (p) e positiva e nula (pz).

Tabela 4. Frequência (%) das classes de resposta à adubação e frequência relativa (%) para os nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na em amostras de cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas, na população de alta produtividade.

Nutriente	Classes de resposta à adubação			Frequência relativa		
	LF	NL	LE	LF	NL	LE
N	34.38	37.50	28.13	9.38	75.00	15.63
P	9.38	75.00	15.63	34.38	46.88	18.75
K	12.50	68.75	18.75	12.50	71.88	15.63
S	15.63	65.63	18.75	25.00	56.25	18.75
Ca	12.50	75.00	12.50	15.63	75.00	9.38
Mg	21.88	56.25	21.88	9.38	75.00	15.63
B	18.75	62.50	18.75	15.63	68.75	15.63
Cu	28.13	43.75	28.13	28.13	46.88	25.00
Fe	37.50	34.38	28.13	21.00	65.63	12.50
Mn	34.38	34.38	31.25	0.00	81.25	18.75
Zn	6.25	75.00	18.75	25.00	53.13	21.88
Na	21.88	40.63	37.50	28.13	53.13	18.75

LF: limitante por falta; NL: não limitante; LE: limitante por excesso, conforme Silva et al. (2005).

Fonte: Elaboração do autor.

Quanto às classes de resposta à adubação, é possível observar que P, Ca e Zn não apresentaram limitação em 75% das parcelas experimentais. Na frequência relativa, obtida através dos IBKW, o Mn (81.25%) e N, Ca e Mg, com 75% cada, foram os nutrientes não limitantes à produtividade. Os dois métodos concordam que o Ca foi um dos nutrientes que não apresentou limitação à produtividade. Conforme Donato (2011), as doses de esterco bovino influenciaram positivamente o teor de fósforo nos tecidos dos cladódios, independentemente dos espaçamentos. A adubação orgânica promove maior disponibilidade e mobilidade de P no solo, comparado com fertilizantes químicos. Neste trabalho, a extração de P foi de 1.4 kg Mg⁻¹. Devido ao insuficiente fornecimento de Ca pela adubação orgânica, a capacidade tampão do solo manteve a produtividade da palma.

De forma semelhante, Fe (37.50%), N (34.38%) e Mn (34.38%) foram os elementos apontados como mais limitantes por falta pela classe de resposta à adubação. Pela frequência relativa, a deficiência de P (34.38%) foi a mais limitante, seguida do Cu e Na, cujas frequências foram de 28.13%. A extração/exportação de ferro independe do espaçamento e da adubação orgânica. A concentração e a disponibilidade no solo influencia a extração de N (SILVA et al., 2016), que neste trabalho foi de 15.7 kg Mg⁻¹. Donato (2011) encontraram valores de extração/exportação de N variando de 8.8 até 17.6 kg Mg⁻¹ na matéria seca, em resposta ao aumento das doses de esterco bovino aplicadas no solo de 0 a 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Os fatores adubação e espaçamento influenciam a extração de Mn, a qual é menor em fileiras duplas (SILVA et al., 2016). A população de alta produtividade foi formada, em 81.25%, por parcelas que receberam as maiores doses de esterco bovino, 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Em solos ácidos, a adição de esterco bovino resulta no aumento do pH visto que os ácidos orgânicos são capazes de consumir H⁺ da solução do solo, diminuindo a disponibilidade de Mn. Donato et al. (2016)

justificaram os menores teores de Mn nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ pelo acréscimo do pH de 5.4 antes do plantio para 6.0, 6.1 e 6.2 com adição de 30, 60 e 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco, respectivamente.

Já o Na (37.50%) e o Mn (31.25%) foram os nutrientes mais apontados como limitante por excesso, de acordo com a classe de resposta à adubação. Pela frequência relativa, Cu (25.00%) e Zn (21.88%) foram os nutrientes mais apontados como limitante por excesso. Apesar de não ser essencial para todas as espécies, Marschner (2012) informa que o Na é micronutriente para plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), por exemplo as espécies de *Opuntia*, por ser essencial à regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nessa via, e sua deficiência induz clorose e necrose, além de falha na formação de flores.

A ordem dos nutrientes com maior frequência de limitação por falta, em ordem decrescente, é: Fe > N = Mn > Cu > Mg = Na > B > S > K = Ca > P > Zn e P > Cu = Na > S = Zn > Fe > Ca = B > K > N = Mg > Mn, e com maior frequência de limitação por excesso, em ordem decrescente, é: Na > Mn > N = Cu = Fe > Mg > K = S = B = Zn > P > Ca e Cu > Zn > P = S = Mn = Na > N = K = Mg = B > Fe > Ca, pelos métodos DRIS e IBKW, respectivamente. Percebe-se a divergência, entre os métodos, no diagnóstico nutricional, havendo diferenças na ordem hierárquica da limitação, por falta ou por excesso, e dos nutrientes não limitantes à produtividade. Isso faz sentido pois as premissas dos métodos são diferentes, o DRIS avalia melhor o equilíbrio nutricional, enquanto os IBKW, o balanço. Nesse sentido, a variação das doses de esterco bovino, resultou, para todos os nutrientes, em diferentes classes de resposta à adubação e de frequência relativa do teor de nutrientes nos cladódios.

Wadt e Dias (2014) afirmam que não se deve esperar a existência de correlação entre valores de IBN e de produtividade visto que a média da população de alta produtividade é o próprio teor ótimo estimado, associado a um índice DRIS igual a zero, este ajuste deixa de ter sentido. Embora, Souza et al. (2013) tenham afirmado que há relação significativa entre o IBNm e a produtividade, indicando que a produção esteve ligada ao estado nutricional, e que os valores de IBN baixos são indicadores de plantas bem nutridas, enfatizando a importância do balanço nutricional para a produção. Pode-se encontrar culturas que apesar de apresentarem IBN adequado apresentem baixa produtividade, esse fato pode indicar que a limitação na produtividade possa não ser de ordem nutricional. Essa relação entre IBN, IBNm e produtividade não foi observada no presente trabalho. O tamanho dos cladódios é determinado por fatores genotípicos, e, em menor escala por fatores fenotípicos como a disposição de plantio

e fertilidade do solo (NOBEL, 2001). De acordo com Donato (2011), mudanças no manejo da cultura, como combinação de espaçamentos e doses de adubação podem aperfeiçoar o uso da radiação e o estado nutricional da planta com conseqüente incremento nas taxas fotossintéticas, no crescimento, na produtividade e na composição nutricional.

Isso reforça a ideia que para propor diagnósticos interpretativos e manejo cultural mais precisos é essencial considerar as interações entre nutrientes e as condições do sítio, solo e clima (DONATO et al., 2017). Essas interações influenciam o fluxo de nutrientes no sistema solo-planta. A visão do solo como um corpo natural *in situ* e sua relação com o genótipo e a atmosfera é insubstituível para prever a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que não é possível somente pelas análises químicas de solos e tecidos (RESENDE et al., 2002). Mesmo com normas muito bem estabelecidas significa dizer que ambientes diferentes necessitam de manejos diferentes (RESENDE et al., 2017).

CONCLUSÕES

Os valores de referência gerados pelos métodos DRIS e IBKW diferem entre si e da literatura, para todos os nutrientes.

A produtividade da palma forrageira ‘Gigante’ não está associada ao índice de equilíbrio nutricional, determinado pelo método DRIS.

Os métodos DRIS e IBKW são eficientes na identificação dos nutrientes limitantes para palma forrageira ‘Gigante’, havendo diferenças na ordem hierárquica da limitação, por falta ou por excesso, e dos nutrientes não limitantes à produtividade.

O método DRIS é recomendado para o diagnóstico de macronutrientes em palma forrageira ‘Gigante’.

Os padrões interpretativos estabelecidos para micronutrientes pelos métodos DRIS e IKKW são menos adequados para interpretação do estado nutricional comparado à técnica da Faixa de Suficiência e Chance Matemática.

REFERÊNCIAS

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.

ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 8-14, 2012.

ALVAREZ, V., V. H.; LEITE, R. A. **Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS**. v. 24, n.1, p.20-25, 1999. (Boletim informativo - SBSCS).

ALVES, J. F. T. **Estabelecimento de faixas de suficiência para avaliação nutricional da palma forrageira 'Gigante'**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal Baiano, Guanambi, 2017.

ATTAR, S. K.; JOOLKA, N. K. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms for apple cv. Starking Delicious. **The Bioscan**, Jharkhand, v. 10, n. 3, p. 1287-1294, 2015.

BARROS, J. L. et al. Palma forrageira 'Gigante' cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 53-65, 2016.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p.

BLANCO-MACÍAS, F. et al. Comparación entre normas DNC y estándares nutrimentales de la técnica de curva límite: caso *Opuntia ficus-indica* L. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Chapingo, v. 15, n. 2, p. 217-223, 2009.

BLANCO-MACÍAS, F. et al. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, Weinheim, v. 173, n. 6, p. 927-934, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº. 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, OrganoMinerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação Geral de Apoio Laboratorial CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca

Nacional de Agricultura BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento na rede mundial de computadores, endereço eletrônico: www.agricultura.gov.br. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 31 jul. 2007. Seção 1.

CHACÓN-PARDO, E.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; ARGUELLO, O. Establishment of DRIS norms for the nutritional diagnosis of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) clone RRIM 600 on the Eastern Plains of Colombia. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v. 31, n. 2, p. 215-222, 2013.

DIAS, J. R. M. et al. Níveis críticos e faixas de suficiência nutricional em laranjeira-pêra na Amazônia Central obtidas pelo método DRIS. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 43, n. 3, p. 239-246, 2013.

DONATO, P. E. R. **Características morfológicas, de rendimento e nutricionais da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco**. 2011. 135f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014a.

DONATO, P. E. R. et al. Nutrition and yield of ‘Gigante’ cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 12, p. 1083-1088, 2016.

DONATO, P. E. R. et al. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 163–172, 2014b.

DONATO, P. E. R. et al. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacing and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n. 4, p. 238-243, 2017a.

DONATO, S. L. R. et al. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017b.

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.

FERNANDES, L. V. **Normas e determinação de faixas de suficiência para diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto**. 2010. 83f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

GUIMARÃES, F. C. N. et al. Nutrients optimum range (NOR) based on DRIS method to assess the nutritional status of the first ratoon sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, Riverhills, v. 9, n. 7, p. 638-645, 2015.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 109-118, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

JONES, C. A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, n. 8, p. 785-794, 1981.

KENWORTHY, A. L. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchard. In: WALSH, L. O.; BEATON, J. D. **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p. 381-392.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**.

2004. 101f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 235-238, 2001.

MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3.rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 651p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703- 713, jun. 2003.

NACHTIGALL, G. R.; DECHEN, A. R. DRIS norms evaluating the nutritional state of apple tree. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 282-287, 2007.

NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. P. (Eds.). **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. João Pessoa Roma: SEBRAE-PB, 2001. p. 36-48.

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. 2007. p. 472- 550.

RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J.L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. In: ÁLVAREZ V., V.H. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p. 593-643.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. Uso das informações pedológicas agrícola e não agrícola. In: CURI, N.; KER, J.C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. 1 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p.47- 110.

RIBEIRO, G.M. **Avaliação de metodologias na diagnose nutricional do melão cantaloupe irrigado na Chapada do Apodi-RN**. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2008.

ROCHA, J. B. O. **Diagnose nutricional de plantios de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo e Sul da Bahia**. 2008. 56f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SERRA, A. P. et al. Beauflis ranges to assess the cotton nutrient status in the Southern region of Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 171-181, 2012.

SERRA, A. P. et al. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 97-104, 2010.

SERRA, A. P. et al. Estabelecimento de normas DRIS para o algodoeiro com diferentes critérios de seleção da população de referência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 11, p. 1472-1480, 2013.

SILVA, G. G. C. et al. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS, e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 755-761, 2005.

SILVA, J. A. et al. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 564-569, 2016.

SOUZA, H. A. et al. Normas preliminares DRIS e Faixas de Suficiência para Goiabeira ‘Paluma’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 282-291, 2013.

URANO, E. O. M. et al. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos Chance Matemática, Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação e Diagnose da Composição Nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 63-72, 2007.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 227-234, 2005.

WADT, P. G. S.; DIAS, J. R. M. Premissas para a aplicação do DRIS em espécies florestais e palmeiras. In: PRADO, R. de M.; WADT, P.G.S. (Ed.). **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2014. v.1, p. 277-298.

ARTIGO 3

VALORES DE REFERÊNCIA PARA DIAGNOSE NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' PELO MÉTODO DA LINHA DE FRONTEIRA

VALORES DE REFERÊNCIA PARA DIAGNOSE NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ PELO MÉTODO DA LINHA DE FRONTEIRA

RESUMO

Objetivou-se determinar valores de referência para diagnose nutricional de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas pelo método da Linha de Fronteira. 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, em delineamento em blocos casualizados e três repetições. Os limites inferior (L_i) e superior (L_s) das classes dos valores de referência foram determinados por regressão nas quais os teores de nutrientes nos cladódios foram utilizados como variáveis independentes (x) e a PMS como variável dependente (y), considerando uma porcentagem da máxima produtividade de matéria seca (declividade = 0). Foram estabelecidas cinco classes: deficiente, baixo, normal, alto e excessivo. Os valores de referência para macronutrientes determinados pela abordagem da Linha de Fronteira concordam com a literatura relacionada a diagnose nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em condições semiáridas da Bahia e podem ser utilizados no diagnóstico com a mesma precisão. Os valores estabelecidos para micronutrientes pelo método da Linha de Fronteira são menos adequados para interpretação do estado nutricional comparado à técnica da Faixa de Suficiência e Chance Matemática.

Palavras-chave: *Opuntia*. Teores ótimos. Fertilidade. Fertilização orgânica.

REFERENCE VALUES FOR NUTRITIONAL DIAGNOSIS OF ‘GIGANTE’ CACTUS PEAR BY BOUNDARY-LINE APPROACH

ABSTRACT

It is been objected to determine reference values for evaluating the nutritional status of ‘Gigante’ cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cultivated with organic fertilization in semiarid conditions by Boundary-line approach. It was used cladodes macro and micronutrients contents

and dry matter yield (DMY) of 72 plots of one experiment with four doses of cattle manure (0, 30, 60 and 90 Mg ha⁻¹ year⁻¹), three spacings (1.00 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), arranged in a 4 x 3 x 2 factorial experiment, in randomized blocks design and three replicates. The lower (L_i) and the upper limits (L_u) of the reference values have been determined by solving the polynomial equation where the nutrient contents in cladodes were used as independent variables (x) and dry matter yield (DMY) as a dependent variable (y), considering a percentage of maximum DMY (slope = 0). Five classes were established: deficient, low, normal, high and excessive. The reference values for macronutrients determined by the Boundary-line approach agree with the literature related to the nutritional diagnosis of 'Gigante' cactus pear cultivated in semiarid conditions in Bahia and might be used in diagnosis with the same precision. The values established for micronutrients by Boundary-line approach are less adequate for the interpretation of nutritional status compared to Sufficiency Range and Mathematical Chance.

Keywords: *Opuntia*. Optimal range. Fertility. Organic fertilization.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma planta adaptada às condições adversas do semiárido devido as suas características morfológicas e fisiológicas, primordialmente, devido ao metabolismo do ácido das crassuláceas (CAM) (DONATO et al., 2014a). A cultura representa uma solução viável para a alimentação de rebanhos nos períodos de estiagem devido a boa produção de matéria seca por hectare, alto teor de carboidratos não fibrosos, boa aceitabilidade, digestibilidade e bom valor energético (ALMEIDA, 2012). O Brasil tem uma produção de 3.58 milhões de toneladas da cultura, sendo a Bahia o maior produtor, responsável por 42% dessa produção. A palma figura entre as quatro culturas mais importantes do estado (IBGE, 2017).

O potencial produtivo da palma forrageira é máximo quando as relações adequadas de nutrientes proporcionam o desenvolvimento normal da cultura. Conhecer o balanço e equilíbrio nutricional das plantas é importante para avaliar o potencial de rendimento (SERRA et al., 2010). A diagnose foliar é utilizada como complemento à análise química do solo e à diagnose visual e reflete a dinâmica dos nutrientes no sistema-solo-planta. O seu entendimento contribui para um cultivo sustentável e economicamente viável (DONATO et al., 2017b). A concentração

foliar dos nutrientes é considerada, atualmente, como o mais pertinente e confiável método para julgar o estado nutricional das plantas por representar a condição *in situ* de forma holística. Diversos métodos tem demonstrado a natureza dinâmica da composição de nutrientes no tecido vegetal (ATTAR et al., 2015).

O método da Linha de Fronteira, proposto inicialmente por Webb (1972), foi desenvolvido em experimentação biológica para estabelecer relações entre duas variáveis medidas em condições de campo onde a variável dependente é limitada por mais de uma variável (LAFOND, 2013). Considera-se que a linha que define o melhor desempenho da população encontra-se na borda de qualquer corpo de dados e ocorre sempre que existe uma relação de causa-efeito entre duas variáveis, excluindo a interferência dos fatores ambientais dessa relação, representada pelos pontos abaixo dessa linha. O método da Linha de Fronteira tem sido utilizado como alternativa aos métodos convencionais de diagnose nutricional que apresentam limitações devido à forte influência da idade do órgão vegetal (BHAT; SUJATHA, 2013).

Walworth, Letsch e Sumner (1986) e Lanford (2009) relatam que é possível usar esse método para obter as concentrações ótimas e os valores de referência para diagnóstico nutricional de culturas. O método da Linha de Fronteira prevê o relacionamento entre os teores de nutrientes com a produtividade e permite determinar as relações ótimas entre nutrientes no tecido vegetal, além de possibilitar a estimativa da produção máxima para qualquer conjunto de dados (ALMEIDA et al., 2016).

Os trabalhos que determinaram valores de referência para a palma forrageira pelos métodos de diagnose nutricional são escassos. Blanco-Macías et al. (2009, 2010) determinaram faixas de suficiência para a cultura pelos métodos Diagnose da Composição Nutricional (CND) e Linha de Fronteira para condições edafoclimáticas no México; Alves (2017) estabeleceu padrões interpretativos para os teores de nutrientes nos cladódios pelos métodos da Chance Matemática (ChM) e Faixa de Suficiência; e Donato et al. (2017b), para os atributos químicos do solo cultivado com palma forrageira ‘Gigante’ pelos métodos da Faixa de Suficiência e Nível Crítico pela distribuição normal reduzida (NCRIz) nas condições semiáridas na Bahia.

Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho determinar valores de referência para diagnose nutricional de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas do sudoeste baiano pelo método da Linha de Fronteira.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com palma forrageira ‘Gigante’ foi conduzido num solo classificado originalmente como 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”S, longitude 42°46’53”W, com médias anuais de precipitação de 680 mm e temperatura de 26 °C.

Foram utilizados no presente estudo dados básicos de Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016). Utilizaram-se os teores de macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na) determinados em amostras coletadas em cladódios recém maduros; a produtividade de matéria seca (PMS) e a extração de nutrientes 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), foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3 x 2, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Conforme Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016), o esterco utilizado apresentava, em média, em base seca (65 °C) umidade de 16.72%, teor de matéria orgânica de 63.73 g kg⁻¹ e os seguintes teores de macronutrientes (g kg⁻¹): Ca = 1.7, Mg = 0.2, K = 2.5, N = 5.2, S = 2.3 (EPA 3051 / APHA 3120B) e P = 4.7 (APHA 4500-PC); e micronutrientes (mg kg⁻¹): B = 2.1, Cu = 45.2, Zn = 200.5, Mn = 391.8 e Fe = 1,932.4 (EPA 3051 / APHA 3120B). O pH era 7.42 (Método oficial do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2007)), e a densidade, 0.38 g cm⁻³.

A descrição dos atributos do solo da área experimental antes do plantio do palmar encontra-se em Donato et al. (2014a, b, 2016, 2017a) e Barros et al. (2016). Sendo: P = 16.33 mg dm⁻³; K⁺ = 0.29, Ca⁺² = 2.02, Mg⁺² = 0.90, Al⁺³ = 0.16, H⁺ = 1.69, Na⁺ = 0.04, SB = 3.21, t = 3.36 e T = 5.05 cmol_c dm⁻³; V = 63.14, m = 4.86 e PST = 0.67 %; M.O = 14.67 g dm⁻³; Cu⁺⁺ = 0.36, Mn⁺⁺ = 17.61, Zn⁺⁺ = 1.42; Fe⁺⁺ = 6.32 mg dm⁻³; e, pH = 5.42. Nas colheitas do primeiro (DONATO et al., 2014a) e segundo ciclos de produção (BARROS et al., 2016) preservaram-se três cladódios primários.

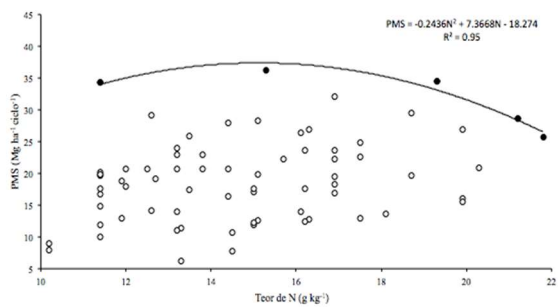
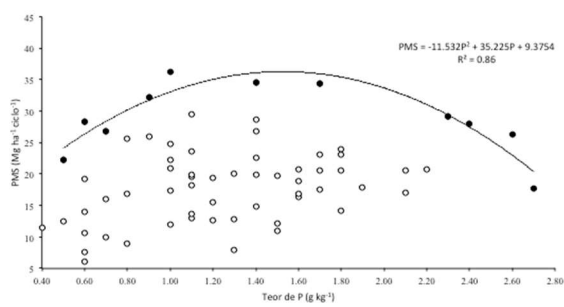
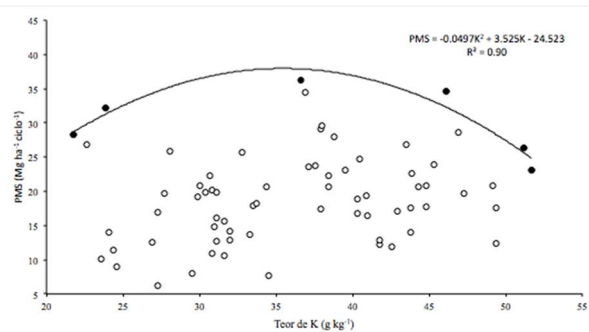
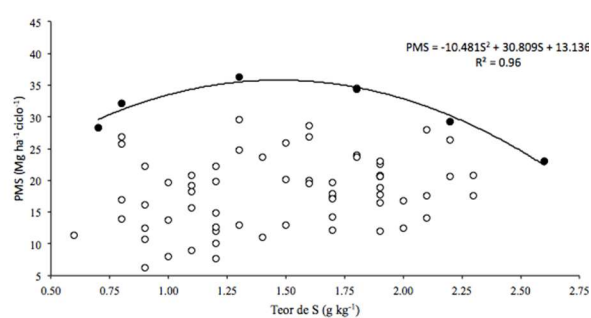
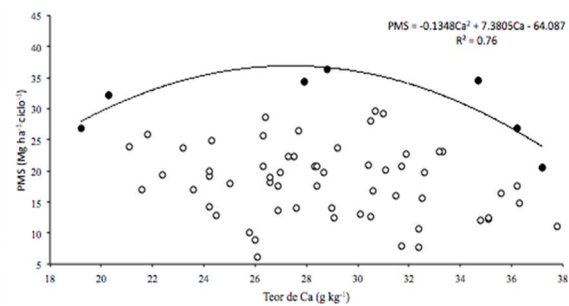
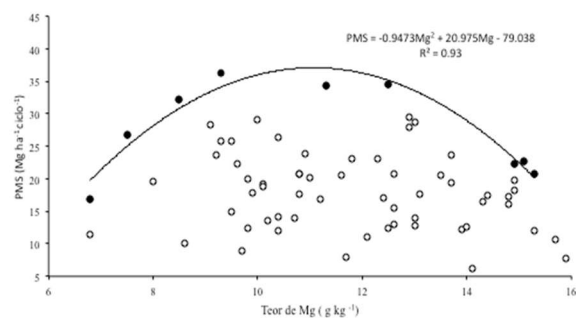
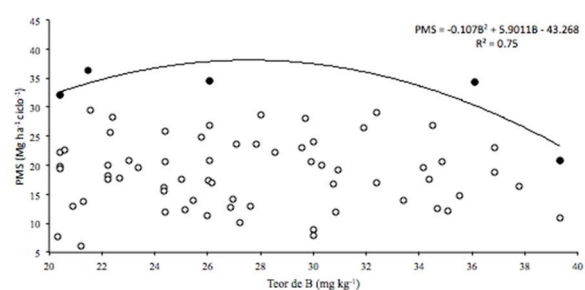
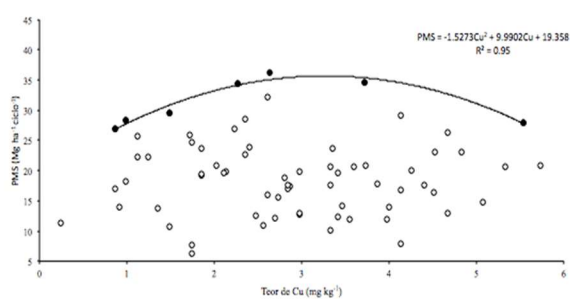
Após a coleta, as amostras foram fatiadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 horas. Após a secagem, foram moídas em moinho tipo Willey com peneira com crivos de 1 mm, identificadas e acondicionada em potes plásticos e posteriormente enviadas ao laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG –

URENM). Os resultados das análises químicas do tecido vegetal para N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, juntamente com os respectivos resultados de produtividade de matéria seca, foram organizados e processados em planilha eletrônica Microsoft Excel®. A curva de regressão foi determinada com os pontos selecionados, localizados na região de fronteira superior da dispersão de dados. Os teores máximos foram determinados pela resolução da primeira derivada da equação de regressão ($2ax + b = 0$) onde os teores de nutrientes nos cladódios foram utilizados como variáveis independentes (x) e a produtividade de matéria seca como variável dependente (y).

O limite inferior (L_i) e o limite superior (L_s) de cada classe dos valores de referência foi determinado resolvendo as equações de regressão para o teor de nutrientes nos cladódios considerando uma porcentagem da máxima produtividade de matéria seca (declividade = 0). Foram estabelecidas cinco classes: deficiente ($PMS < 70\%$, à esquerda do máximo); baixo ($70\% \leq PMS < 90\%$, à esquerda do máximo); normal (90% , à esquerda do máximo, $\leq PMS < 90\%$, à direita do máximo); alto ($90\% > PMS \geq 70\%$, à direita do máximo); e, excessivo ($PMS > 70\%$, à direita do máximo). As relações ótimas entre nutrientes foram calculadas de maneira similar aos valores de referência para os nutrientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia, ajustaram-se equações de regressão entre o teor do nutriente no cladódio e a produtividade de matéria seca (PMS) usando número diferente de pontos localizados na região de fronteira superior da dispersão de dados. Foram utilizados cinco (N, B e Na), seis (K, S, Fe e Zn), sete (Ca e Cu), nove (Mg e Mn) e 11 (P) pontos (Figura 1). Os modelos ajustados foram quadráticos significativos, exceto para N, B e Na, e apresentaram valores elevados de R^2 (0.75 a 0.97) para todos os nutrientes (Tabela 1).

A**B****C****D****E****F****G****H**

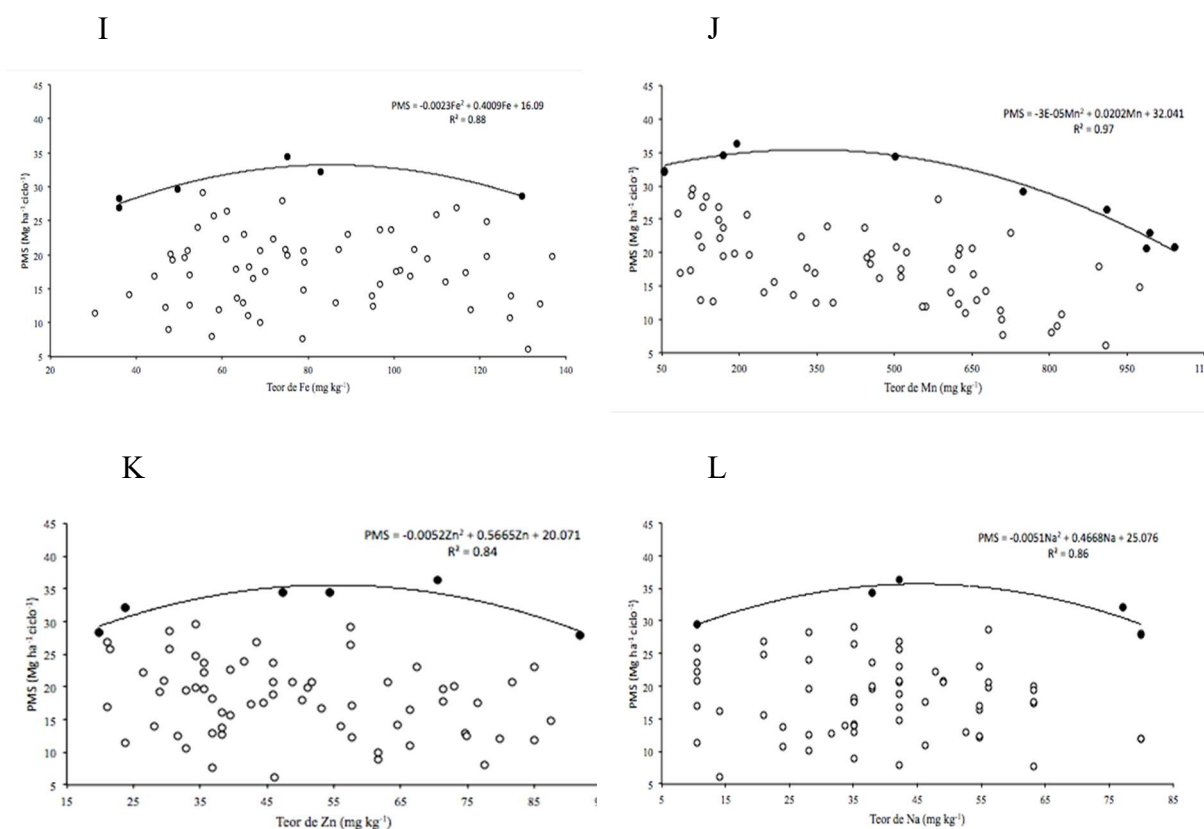


Figura 1. Linha de Fronteira estimada a partir da relação entre teor do nutriente no cladódio de palma forrageira ‘Gigante’ e a produtividade de matéria seca para N (A), P (B), K (C), S (D), Ca (E), Mg (F), B (G), Cu (H), Fe (I), Mn (J), Zn (K) e Na (L). Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 1. Equação de regressão, número de pontos usados na regressão (n), coeficiente de determinação (R^2), teor ótimo e produtividade de matéria seca (PMS) para o teor ótimo do nutriente em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia.

Macronutriente	Equação de regressão	n	R^2	Teor ótimo (g kg ⁻¹)	PMS no teor ótimo (Mg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)
N	$PMS = -18.274 + 7.366^{ns}N - 0.2436^{ns}N^2$	5	0.95	15.12	37.42
P	$PMS = 9.3754 + 35.225^{**}P - 11.532^{**}P^2$	11	0.86	1.53	36.27
K	$PMS = -24.523 + 3.525^{*}K - 0.0497^{*}K^2$	6	0.90	35.46	37.98
S	$PMS = 13.136 + 30.809^{**}S - 10.481^{**}S^2$	6	0.96	1.47	35.78
Ca	$PMS = -64.087 + 7.3805^{*}Ca - 0.1348^{*}Ca^2$	7	0.76	27.38	36.94
Mg	$PMS = -79.038 + 20.975^{**}Mg - 0.9473^{**}Mg^2$	9	0.93	11.07	37.07
Micronutriente	Equação de regressão		R^2	Teor ótimo (mg kg ⁻¹)	PMS no teor ótimo (Mg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)
B	$PMS = -43.268 + 5.9011^{ns}B - 0.107^{ns}B^2$	5	0.75	27.58	38.09
Cu	$PMS = 19.358 + 9.9902^{**}Cu - 1.5273^{**}Cu^2$	7	0.95	3.27	35.69
Fe	$PMS = 16.09 + 0.4009^{*}Fe - 0.0023^{*}Fe^2$	6	0.88	87.15	33.56
Mn	$PMS = 32.041 + 0.0202^{*}Mn - 0.00003^{**}Mn^2$	9	0.97	336.67	35.44

Zn	$PMS = 20.071 + 0.5665 * Zn - 0.005 * Zn^2$	6	0.84	54.47	35.50
Na	$PMS = 25.076 + 0.4668^{ns} Na - 0.0051^{ns} Na^2$	5	0.86	45.76	35.76

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} não-significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Walworth et al. (1986) sugerem que a estratégia ideal no manejo das culturas é manter o teor do nutriente no ponto ótimo ou o mais próximo dele. De acordo com o teor ótimo dos nutrientes nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’, a ordem de absorção dos macronutrientes é (g kg⁻¹): K (35.46) > Ca (27.38) > N (15.12) > Mg (11.07) > P (1.53) > S (1.47). Assim como determinaram Blanco-Macías et al. (2010), K e Ca são os nutrientes de maior concentração nos cladódios. Os micronutrientes mais absorvidos são: Mn > Fe > Zn > Na > B > Cu, sendo, 336.67, 87.15, 54.47, 45.76, 27.58 e 3.27 mg kg⁻¹, respectivamente.

Considerando o aporte dos nutrientes pela matéria orgânica, foram determinadas as relações entre nutrientes de maior importância para a palma forrageira ‘Gigante’. As relações ótimas, estimadas através da abordagem da Linha de Fronteira, com elevado valor de R² (0.76 a 0.99), são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Equação de regressão para a relação entre nutrientes, número de pontos usados na regressão (n), coeficiente de determinação (R²), relação ótima e produtividade de matéria seca (PMS) para a relação ótima entre nutrientes em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia.

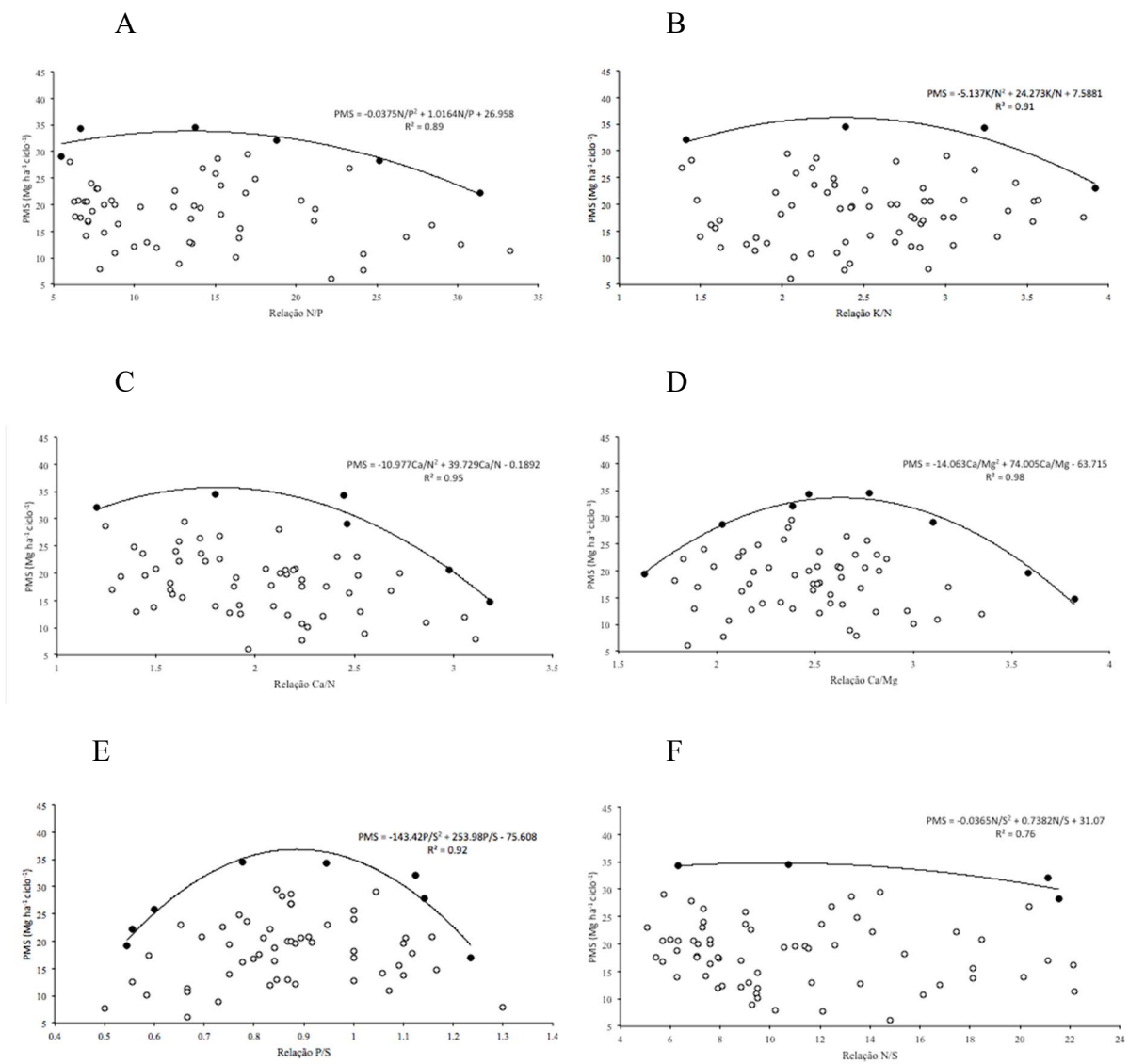
Relação	Equação de regressão	n	R ²	Relação ótima	PMS na relação ótima (Mg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)
N/P	$PMS = 26.944 + 1.019^{ns} N/P - 0.0376 * N/P^2$	6	0.89	13.55	33.85
K/N	$PMS = 7.5881 + 24.273^{ns} K/N - 5.137^{ns} K/N^2$	4	0.91	2.36	36.26
Ca/N	$PMS = -0.1892 + 39.729 * Ca/N - 10.977 * Ca/N^2$	6	0.95	1.81	35.76
Ca/Mg	$PMS = -63.715 + 74.005^{**} Ca/Mg - 14.063^{**} Ca/Mg^2$	8	0.98	2.63	33.65
P/S	$PMS = -75.608 + 253.98^{**} P/S - 143.42^{**} P/S^2$	8	0.92	0.89	36.83
N/S	$PMS = 31.07 + 0.7382^{ns} N/S - 0.0365^{ns} N/S^2$	4	0.76	10.11	34.80
N/B	$PMS = 17.874 + 74.269^{ns} N/B - 69.604^{ns} N/B^2$	4	0.98	0.53	37.69
P/B	$PMS = 10.082 + 861.93^{**} P/B - 7923.9^{**} P/B^2$	9	0.95	0.05	33.52
S/B	$PMS = -1.1834 + 1269.5^{**} S/B - 10947^{**} S/B^2$	6	0.99	0.06	35.62
Mn/B	$PMS = 31.55 + 0.4363^{ns} Mn/B - 0.0149^{ns} Mn/B^2$	4	0.99	14.64	34.74

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} não-significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Foram utilizados quatro (K/N, N/S, N/B, Mn/B), seis (N/P, Ca/N, S/B), oito (Ca/Mg, P/S) e nove (P/B) pontos para o ajuste das equações de regressão entre a relação de nutrientes no cladódio e a produtividade de matéria seca (PMS) (Figura 2). As relações ótimas para N/P, K/N, Ca/N, Ca/Mg, P/S, N/S, N/B, P/B, S/B e Mn/B foram 13.55, 2.36, 1.81, 2.63, 0.89, 10.11,

0.53, 0.05, 0.06 e 8.40, respectivamente. Pelo método DRIS, utilizando os mesmos dados, os valores das relações foram N/P (13.23), K/N (2.5), Ca/N (1.85), Ca/Mg (2.42), P/S (0.92), N/S (11.49), N/B (0.59), P/B (0.05), S/B (0.06) e Mn/B (13.36), na população de alta produtividade; e, N/P (13.54), K/N (2.46), Ca/N (2.16), Ca/Mg (2.53), P/S (0.94), N/S (11.38), N/B (0.54), P/B (0.05), S/B (0.05) e Mn/B (18.70), na população de baixa produtividade, demonstrando concordância entre os métodos de diagnose nutricional para obtenção das relações ótimas entre nutrientes. Blanco-Macías et al. (2010) encontraram para as relações K/N e Ca/N os valores 3.4 e 2.9, nessa ordem, sugerindo que a palma tende a acumular mais K e Ca que N nos cladódios.



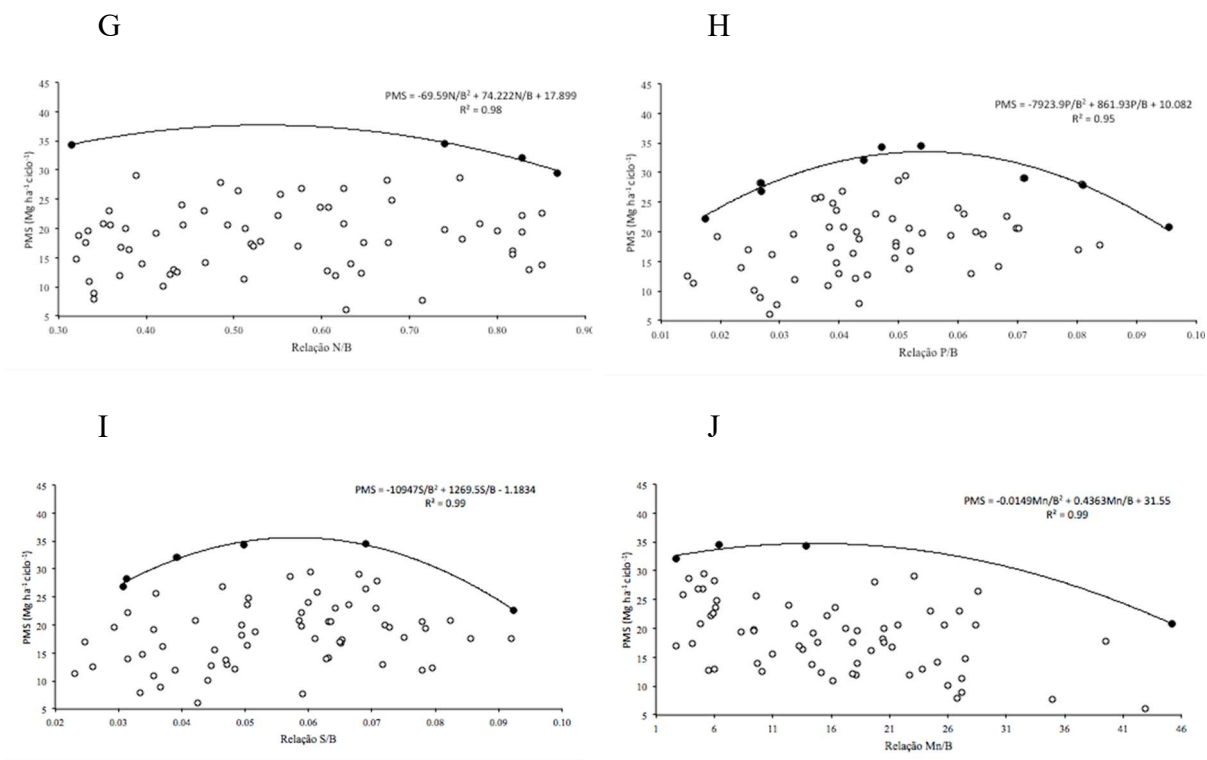


Figura 2. Linha de Fronteira estimada a partir da razão entre nutrientes presentes no cladódio de palma forrageira ‘Gigante’ e a produtividade de matéria seca para N/P (A), K/N (B), Ca/N (C), Ca/Mg (D), P/S (E), N/S (F), N/B (G), P/B (H), S/B (I) e Mn/B (J). Fonte: Elaboração do autor.

Tem-se utilizado relações entre nutrientes nas plantas como indicadores do equilíbrio nutricional. Variações nessas relações levam ao desequilíbrio nutricional, redução no crescimento e na produtividade (BHAT; SUJATHA, 2013). Principalmente, as relações entre micronutrientes precisam ser mantidas em níveis ótimos, uma vez que a ampla variação resulta em uma enorme redução na produtividade (BHAT; SUJATHA; JOSÉ, 2012).

Utilizando as equações de regressão resultantes da relação entre os teores dos nutrientes nos cladódios e a produtividade de matéria seca (Tabela 1), estabeleceram-se os valores de referência para o teor de nutrientes em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’. Os valores de referência foram decompostos em cinco classes para avaliação nutricional da cultura. Esses valores de referência são associadas às produtividades de massa seca de 24.2 à 34.5 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de referência para diagnose nutricional de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica em condições semiáridas da Bahia determinados com uso do método da Linha de Fronteira.

Nutriente	Valores de Referência				
	Deficiente ¹ (PMS < 70%)	Baixo ¹ (70% ≤ PMS < 90%)	Normal ¹ (90% ≤ PMS < 90%)	Alto (90% > PMS ≥ 70%)	Excessivo (PMS > 70%)
	g kg ⁻¹				
N	< 8.3	8.3 - 11.2	11.2 - 19.0	19.0 - 21.9	≥ 21.9
P	< 0.6	0.6 - 1.0	1.0 - 2.1	2.1 - 2.5	≥ 2.5
K	< 20.3	20.3 - 26.7	26.7 - 44.2	44.2 - 50.6	≥ 50.6
S	< 0.5	0.5 - 0.9	0.9 - 2.1	2.1 - 2.5	≥ 2.5
Ca	< 18.3	18.3 - 22.1	22.1 - 32.6	32.6 - 36.4	≥ 36.4
Mg	< 7.6	7.6 - 9.1	9.1 - 13.0	13.0 - 14.5	≥ 14.5
	mg kg ⁻¹				
B	< 17.2	17.2 - 21.6	21.6 - 33.5	33.5 - 37.9	≥ 37.9
Cu	< 0.6	0.6 - 1.7	1.7 - 4.8	4.8 - 5.9	≥ 5.9
Fe	< 21.0	21.0 - 49.0	49.0 - 125.4	125.4 - 153.3	≥ 153.3
Mn	< 0.0	0.0 - 0.0	0.0 - 680.4	680.4 - 932.0	≥ 932.0
Zn	< 9.2	9.2 - 28.3	28.3 - 80.6	80.6 - 99.7	≥ 99.7
Na	< 0.0	0.0 - 19.3	19.3 - 72.2	72.2 - 91.6	≥ 91.6

¹. Valores negativos foram substituídos por zero.

Fonte: Elaboração do autor.

Embora para N, a equação de regressão seja não-significativa, para os macronutrientes, os limites das classes deficiente e excessivo dos valores de referência obtidos pela abordagem da Linha de Fronteira foram próximos aos propostos por Alves (2017) e Donato et al. (2017b) pela técnica da Faixa de Suficiência. Inclusive, os limites para P (0.6 g kg⁻¹) e Ca (18.3 g kg⁻¹), na classe deficiente, e N (19.0 21.9 g kg⁻¹), na classe alto, são iguais. Nesse sentido, a amplitude dos valores são próximas, indicando que quaisquer valores de referência podem ser utilizados para identificar, com precisão, as parcelas sob desequilíbrio nutricional. Quando é ampla, a possibilidade de obter o teor de nutriente no cladódio de uma amostra dentro dessa faixa é muito alta. Por outro lado, quando a faixa é estreita, essa possibilidade diminui e o resultado é mais preciso (GUIMARÃES et al., 2015). Embora a faixa de suficiência proposta por Blanco-Macías et al. (2010) seja mais estreita para alguns macronutrientes como N, K, Ca e Mg, os autores não determinaram valores para S, micronutrientes e classes do estado nutricional.

A faixa de suficiência proposta por Blanco-Macías et al. (2010) para N (8.4 – 20.3 g kg⁻¹) é mais estreita que os valores encontrados pela abordagem da Linha de Fronteira. Para P, o valor obtido no limite superior da classe alto (2.5 g kg⁻¹) é próximo ao limite inferior da faixa proposta por Blanco-Macías et al. (2010), 2.4 – 4.2 g kg⁻¹. Donato et al. (2017b) justificaram as diferenças entre as faixas por eles encontradas e as de Blanco-Macías et al. (2010) em razão das condições edafoclimáticas locais. Contudo as diferenças justificam-se também pelas diferenças entre os métodos, pois esses autores utilizaram o método da Linha de Fronteira com diferente abordagem.

Donato et al. (2016), em solo com 16.3 mg dm^{-3} de P constataram teores de 1.3 g kg^{-1} e 1.7 g kg^{-1} , sem e com aplicação de 30 Mg ha^{-1} de esterco, respectivamente, e 2.0 g kg^{-1} e 2.5 g kg^{-1} com aplicação de 60 e 90 Mg ha^{-1} . Houve, também, incremento no fósforo remanescente, e, de 41.8 para 45.0 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 faixa de suficiência, o que pode caracterizar consumo do luxo. Paralelamente, o P é um macronutriente de baixa exportação na matéria seca pela palma, 2.1 kg Mg^{-1} (DONATO et al., 2017b) e de baixa resposta à aplicação (DUBEUX JR., 2010).

Para K, o limite inferior (38.2 g kg^{-1}) e o limite superior (50.8 g kg^{-1}) da faixa de suficiência proposta por Blanco-Macías et al. (2010), classifica-se na classe normal e excessivo, nessa ordem, pelos valores encontrados neste trabalho. Os valores propostos por Blanco-Macías et al. (2010) para Ca ($31.8 - 45.2 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($14.3 - 20.9 \text{ g kg}^{-1}$) situam-se entre as classes normal e excessivo e alto e excessivo, nessa ordem. 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.

Os limites inferior e superior das classes determinados para P e S pela abordagem da Linha de Fronteira são próximos aos obtidos por Alves (2017) e Donato et al. (2017b). Tanto que para P (0.6 g kg^{-1}), o valor obtido para o limite da classe deficiente é igual ao proposto por esses autores. Em se tratando de um experimento com doses de esterco bovino, justifica-se essa coincidência em função do maior aporte desses nutrientes pela matéria orgânica. Além disso, o nível crítico de fósforo no solo é variável com a capacidade de adsorção do elemento (NOVAIS et al., 2007). Conforme Donato (2011), as doses de esterco bovino influenciaram positivamente o teor de fósforo nos tecidos dos cladódios, independentemente dos espaçamentos. A adubação orgânica promove maior disponibilidade e mobilidade de P no solo, comparado com fertilizantes químicos. Neste trabalho, a extração de P foi de 1.3 kg Mg^{-1} . Devido ao insuficiente fornecimento de Ca pela adubação orgânica, a capacidade tampão do solo manteve a produtividade da palma.

Comparando os valores obtidos neste trabalho com os valores de Chance Matemática (ChM) estabelecidos por Alves (2017), observa-se que as maiores ChM para N ($15.5 - 19.7 \text{ g kg}^{-1}$) compreendem valores entre a classe normal e alto. O limite inferior da ChM, para P (0.46 g kg^{-1}), é menor que o limite inferior estabelecido pela Linha de Fronteira (0.6 g kg^{-1}). Ainda para P, o limite superior (1.71 g kg^{-1}) da ChM situa-se na classe normal dos valores de referência determinados pela Linha de Fronteira. As maiores ChM registradas para K ($33.74 - 39.72 \text{ g kg}^{-1}$)

¹) e Ca (25.00 – 29.06 g kg⁻¹) seriam todas situadas na classe normal, determinada pela Linha de Fronteira. Em relação ao Mg, o limite inferior da ChM (7.46 g kg⁻¹) é menor que o limite da classe deficiente. O limite superior da ChM (13.95 g kg⁻¹) situa-se na classe alto, determinada pela abordagem da Linha de Fronteira. Para S, os valores da ChM (1.05 – 1.82 g kg⁻¹) situam-se na classe normal. Semelhante a faixa de suficiência proposta por Blanco-Macías et al. (2010), os valores da Chance Matemática não determinam classes para interpretação do estado nutricional. O uso de concentrações mínimas e máximas na diagnose nutricional pode ser limitado (LAFOND, 2013).

Referente aos micronutrientes, os limites inferior e superior das Chances Matemáticas (ALVES, 2007) para B (20.36 – 27.94 mg kg⁻¹), Fe (35.87 – 84.31 mg kg⁻¹) e Zn (19.72 – 48.55 mg kg⁻¹) compreendem valores das classes baixo e normal, determinados pela Linha de Fronteira. Assim como, para Cu (1.81 – 2.78 mg kg⁻¹), Mn (54.85 – 252.23 mg kg⁻¹) e Na (26.62 – 42.75 mg kg⁻¹) os valores estabelecidos por Alves (2017) situam-se entre os limites inferior e superior da classe normal, determinada pela abordagem da Linha de Fronteira. Comparando os limites com os valores encontrados por Alves (2017) e Donato et al. (2017b), pela técnica da Faixa de Suficiência, verifica-se que para Fe e, principalmente, B, os limites encontrados são próximos, nos dois métodos, mesmo que a equação de regressão ajustada para a relação entre o teor de B nos cladódios e a PMS seja não-significativa. Para o Cu, a amplitude dos valores determinados Alves (2017) e Donato et al. (2017b) é menor, o que contribui para o diagnóstico mais preciso desse micronutriente.

Os valores de referência, determinados pela Linha de Fronteira, para os micronutrientes Mn, na classe deficiente até o limite inferior da classe normal, e Na, na classe deficiente e no limite inferior da classe baixo, assumiram valores negativos para que os teores dos nutrientes sejam considerados deficientes. Além disso, diversos fatores influenciam na absorção e extração dos micronutrientes em razão da complexidade da sua dinâmica no sistema solo-planta (ABREU et al., 2007). Nesse sentido, os padrões interpretativos propostos por Alves (2017) e Donato et al. (2017b) identifica, com maior precisão, as parcelas sob deficiência ou excesso nutricional comparativamente a utilização dos valores de referência determinados pela Linha de Fronteira. Os autores utilizaram um coeficiente k, fator de correção para diminuir a amplitude da faixa conforme Martinez et al. (2003) para os casos de nutrientes com alta variabilidade, caso muito comum para os micronutrientes em tecidos, com CVs acima de 20%, o que contribuiu para estreitar as faixas.

Os fatores adubação e espaçamento influenciam a extração de Mn, a qual é menor em

fileiras duplas (SILVA et al., 2016). Em solos ácidos, a adição de esterco bovino resulta no aumento do pH visto que os ácidos orgânicos são capazes de consumir H^+ da solução do solo, diminuindo a disponibilidade de Mn. Donato et al. (2016) justificaram os menores teores de Mn nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ pelo acréscimo do pH de 5.4 antes do plantio para 6.0, 6.1 e 6.2 com adição de 30, 60 e 90 $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ de esterco, respectivamente. Apesar de não ser essencial para todas as espécies, Marschner (2012) informa que o Na é micronutriente para plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), por exemplo as espécies de *Opuntia*, por ser essencial à regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nessa via, e sua deficiência induz clorose e necrose, além de falha na formação de flores.

Alves (2017) e Donato et al. (2017b) utilizaram o método do NCRiz (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001) para determinar os níveis críticos dos nutrientes nos cladódios. Os NCRiz para N ($14.4\ g\ kg^{-1}$), K ($31.9\ g\ kg^{-1}$), S ($1.1\ g\ kg^{-1}$), Ca ($24.6\ g\ kg^{-1}$), Mg ($10.2\ g\ kg^{-1}$), B ($23.7\ mg\ kg^{-1}$), Fe ($62.0\ mg\ kg^{-1}$), Mn ($111.0\ mg\ kg^{-1}$), Zn ($30.3\ mg\ kg^{-1}$) e Na ($19.4\ mg\ kg^{-1}$) estão compreendidos na classe normal, o Cu ($1.6\ mg\ kg^{-1}$), na classe baixo, e o P ($1.0\ g\ kg^{-1}$), no limite entre a classe baixo e normal. Embora, os autores tenham utilizado a média da produtividade de matéria seca + 0.5 desvio padrão, para separar as parcelas de alta e de baixa produtividade, critério diferente deste trabalho, os NCRiz reforçam que os valores de referência estabelecidos pela abordagem da Linha de Fronteira podem ser utilizados para a interpretação e diagnose do estado nutricional, considerando as ressalvas para os micronutrientes.

A ordem decrescente de extração/exportação dos macronutrientes pela palma forrageira foi ($kg\ Mg^{-1}$): K (36.0), Ca (28.5), N (14.7), Mg (11.5), concordando com a sequência inicial de Donato et al. (2017a). S ($1.5\ kg\ Mg^{-1}$) e P ($1.3\ kg\ Mg^{-1}$) foram os macronutrientes de menor exportação. De maneira idêntica a Donato (2011), a ordem decrescente de extração/exportação dos micronutrientes foi ($g\ Mg^{-1}$): Mn (369.4), Fe (76.1), Zn (44.9), Na (36.5), B (27.6) e Cu (2.6). A extração/exportação de ferro independe do espaçamento e da adubação orgânica. A concentração e a disponibilidade no solo influencia a extração de N (SILVA et al., 2016), que neste trabalho foi de $14.7\ kg\ Mg^{-1}$. Donato (2011) encontraram valores de extração/exportação de N variando de 8.8 até $17.6\ kg\ Mg^{-1}$ na matéria seca, em resposta ao aumento das doses de esterco bovino aplicadas no solo de 0 a $90\ Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$.

O tamanho dos cladódios é determinado por fatores genotípicos, e, em menor escala por fatores fenotípicos como a disposição de plantio e fertilidade do solo (NOBEL, 2001). De acordo com Donato (2011), mudanças no manejo da cultura, como combinação de

espaçamentos e doses de adubação podem aperfeiçoar o uso da radiação e o estado nutricional da planta com conseqüente incremento nas taxas fotossintéticas, no crescimento, na produtividade e na composição nutricional. Isso reforça a ideia que para propor diagnósticos interpretativos e manejo cultural mais precisos é essencial considerar as interações entre nutrientes e as condições do sítio, solo e clima (DONATO et al., 2017).

Essas interações influenciam o fluxo de nutrientes no sistema solo-planta. A visão do solo como um corpo natural *in situ* e sua relação com o genótipo e a atmosfera é insubstituível para prever a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que não é possível somente pelas análises químicas de solos e tecidos (RESENDE et al., 2002). Mesmo com normas muito bem estabelecidas significa dizer que ambientes diferentes necessitam de manejos diferentes (RESENDE et al., 2017).

CONCLUSÕES

Os valores de referência para macronutrientes determinados pela abordagem da Linha de Fronteira estão de acordo com a literatura relacionada a diagnose nutricional da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em condições semiáridas da Bahia e podem ser utilizados no diagnóstico com a mesma precisão.

Os valores estabelecidos para micronutrientes pelo método da Linha de Fronteira são menos adequados para interpretação do estado nutricional comparado à técnica da Faixa de Suficiência e a Chance Matemática.

REFERÊNCIAS

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.

ALMEIDA et al. Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 774-754, 2016.

ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 8-14,

2012.

ALVES, J. F. T. **Estabelecimento de faixas de suficiência para avaliação nutricional da palma forrageira 'Gigante'**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal Baiano, Guanambi, 2017.

ATTAR, S. K.; JOOLKA, N. K. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms for apple cv. Starking Delicious. **The Bioscan**, Jharkhand, v. 10, n. 3, p. 1287-1294, 2015.

BARROS, J. L. et al. Palma forrageira 'Gigante' cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 53-65, 2016.

BHAT, R; SUJATHA, S. Establishing leaf nutrient norms for arecanut by boundary line approach. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, p. 849-862, 2013.

BHAT, R; SUJATHA, S.; JOSÉ, C. T. Assessing soil fertility of a laterite soil in relation to yield of arecanut (*Areca catechu* L.) in humid tropics of India. **Geoderma**, v. 189, n. 190, p. 91-97, 2012.

BLANCO-MACÍAS, F. et al. Comparación entre normas DNC y estándares nutrimentales de la técnica de curva límite: caso *Opuntia ficus-indica* L. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Chapingo, v. 15, n. 2, p. 217-223, 2009.

BLANCO-MACÍAS, F. et al. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, Weinheim, v. 173, n. 6, p. 927-934, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº. 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, OrganoMinerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação Geral de Apoio Laboratorial CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento na rede mundial de computadores, endereço eletrônico: www.agricultura.gov.br.

Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 31 jul. 2007. Seção 1.

DONATO, P. E. R. **Características morfológicas, de rendimento e nutricionais da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco**. 2011. 135f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014a.

DONATO, P. E. R. et al. Nutrition and yield of ‘Gigante’ cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 12, p. 1083-1088, 2016.

DONATO, P. E. R. et al. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 163–172, 2014b.

DONATO, P. E. R. et al. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of 'Gigante' cactus pear under different spacing and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n. 4, p. 238-243, 2017a.

DONATO, S. L. R. et al. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017b.

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.

GUIMARÃES, F. C. N. et al. Nutrients optimum range (NOR) based on DRIS method to assess the nutritional status of the first ratoon sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, Riverhills, v. 9, n. 7, p. 638-645, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

LAFOND, J. Boundary-line approach to determine minimum and maximum leaf micronutrient concentrations in wild lowbush blueberry in Quebec, Canada. **International Journal of Fruit Science**, v. 13, p. 345-355, 2013.

LAFOND, J. Optimum leaf nutrient concentrations of wild lowbush blueberry in Quebec. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 89, p. 341-347, 2009.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 235-238, 2001.

MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3.rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 651p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703- 713, jun. 2003.

NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. P. (Eds.). **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. João Pessoa Roma: SEBRAE-PB, 2001. p. 36-48.

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. 2007. p. 472- 550.

RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J.L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. In: ÁLVAREZ V., V.H. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p. 593-643.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. Uso das informações pedológicas agrícola e não agrícola. In: CURI, N.; KER, J.C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. 1 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p.47- 110.

SERRA, A. P. et al. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 97-104, 2010.

SILVA, J. A. et al. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 564-569, 2016.

WALWORTH, J. L.; LETZSCH, W. S.; SUMNER, M. E. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 1, p. 123-128, 1986.

WEBB, R. A. Use of the boundary line in the analysis of biological data. **Journal of Horticultural Science**, Bangalore, v. 47, n. 3, p. 309-319, 1972.

CONCLUSÕES GERAIS

As relações ótimas entre nutrientes, de maior importância para a palma forrageira ‘Gigante’, estimadas através da abordagem da Linha de Fronteira, são semelhantes às mesmas relações determinadas pelas normas DRIS.

Os métodos IBKW e Linha de Fronteira são menos sensíveis para diagnósticos de micronutrientes que apresentam alto coeficiente de variação.

Os valores de referência estabelecidos pela abordagem da Linha de Fronteira são mais próximos dos valores disponíveis na literatura do que aos valores determinados pelos métodos DRIS e IBKW.

Os valores de referência determinados pelo método DRIS e aqueles citados na literatura são mais recomendados para diagnose nutricional de macronutrientes e micronutrientes, respectivamente, em palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em condições semiáridas da Bahia.