

Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaia¹

Boundary line and mathematical chance in determining nutritional status in the pitaya

Edmilson Igor Bernardo Almeida^{2*}, José Aridiano Lima de Deus³, Márcio Cleber de Medeiros Corrêa⁴,
Lindbergue Araujo Crisostomo⁵ e Júlio César Lima Neves³

RESUMO - Com o presente trabalho objetivou-se avaliar, através dos métodos linha de fronteira e chance matemática, o estado nutricional de pitaia submetidas a combinações de doses crescentes de nitrogênio-potássio (N-K) e fósforo-zinco (P-Zn). Foram aplicadas cinco doses de N (0; 150; 300; 450 e 600 mg dm⁻³) e K (0; 75; 150; 225 e 300 mg dm⁻³) no experimento I, e cinco doses de P (0; 75; 150; 255 e 300 mg dm⁻³) e Zn (0; 2; 4; 6 e 8 mg dm⁻³) no experimento II. Ambos os experimentos foram arrançados em esquema fatorial 5 x 5, com quatro blocos ao acaso. Houve bastante similaridade entre as faixas de suficiência obtidas pela chance matemática e linha de fronteira, exceto para o fósforo. As faixas de suficiência obtidas pela linha de fronteira foram mais amplas que as obtidas pela chance matemática. O método linha de fronteira apresenta elevada capacidade preditiva no ajuste dos dados, demonstrando ser uma importante ferramenta na obtenção de faixas de suficiência e valores de referência para estudos posteriores de diagnose nutricional em pitaia.

Palavras-chave: *Hylocereus undatus*. Faixa de suficiência. Frutíferas exóticas. Interação entre nutrientes.

ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate, using the boundary line method and mathematical chance, the nutritional status of pitaya subjected to combinations of increasing doses of nitrogen-potassium (N-K) and phosphorus-zinc (P-Zn). Five doses of N (0, 150, 300, 450 and 600 mg dm⁻³) and K (0, 75, 150, 225 and 300 mg dm⁻³) were applied in experiment I, and five doses of P (0, 75, 150, 255 and 300 mg dm⁻³) and Zn (0, 2, 4, 6 and 8 mg dm⁻³) in experiment II. Both experiments were arranged in a 5 x 5 factorial scheme of four randomised blocks. There was ample similarity between the sufficiency ranges obtained with mathematical chance and the boundary line method, except for phosphorus. Sufficiency ranges obtained using the boundary line method were broader than those obtained by mathematical chance. The boundary line method is highly predictive in adjusting the data, proving to be an important tool for obtaining sufficiency ranges and reference values for further studies into nutritional diagnosis in the pitaya.

Key words: *Hylocereus undatus*. Sufficiency range. Exotic fruit. Nutrient interaction.

*Autor para correspondência

DOI: 10.5935/1806-6690.20160089

¹Recebido para publicação em 22/05/2014; aprovado em 16/03/2016

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal do Ceará

²Coordenação de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão/UFMA, Campus IV, BR-222, Km 04, s/n, Boa Vista, Chapadinha-MA, Brasil, 65.500-000, edmilson_i@hotmail.com

³Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Campus Universitário, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Viçosa-MG, Brasil, 36.570-000, aridianolima@yahoo.com.br, julio_n2003@yahoo.com.br

⁴Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará/UFC, Campus do Pici, Avenida Mister Hull, 2997, Bloco 805, Fortaleza-CE, Brasil, 60.356-000, mcleber@gmail.com, mcleber@ufc.br

⁵Pesquisador na Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, 2270, Planalto do Pici, Fortaleza-CE, Brasil, 60.511-110, lindberg@embrapa.br

INTRODUÇÃO

O gênero *Hylocereus* contém 14 espécies, as quais podem ser encontradas em regiões subtropicais e tropicais de florestas do continente americano. Das espécies de *Hylocereus* cultivadas mundialmente, destacam-se a *H. undatus*, *H. monacanthus* e *H. megalanthus* (ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012).

A pitáia é uma cactácea epífita, perene, suculenta que apresenta caule do tipo cladódio, de onde partem numerosas raízes adventícias, que permitem o crescimento da planta em árvores e pedras situadas em ambientes sombreados de florestas tropicais da América. A pitáia está distribuída na Costa Rica, Venezuela, Panamá, Uruguai, Brasil, Colômbia e México, sendo os dois últimos países, os principais produtores, a nível mundial (DONADIO, 2009; ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012).

A produtividade média da pitáia oscila de 10 a 30 t ha⁻¹, o que ocorre em função das condições edafoclimáticas, técnicas de cultivo e idade do pomar (LE BELLEC; VAILLANT; INBERT, 2006). No Brasil, existem pequenas áreas de produção de pitáia, situadas principalmente no estado de São Paulo. Em virtude do maior consumo de frutas exóticas e ao seu expressivo valor comercial, tem aumentado o interesse por parte dos fruticultores para o plantio e cultivo dessa frutífera em outras regiões do Brasil, em especial no Nordeste (BASTOS *et al.*, 2006; ESTELLENA, 2013).

Embora tenha havido grande expansão agrícola da pitáia no Brasil e em outros países, a cultura, ainda, necessita de estudos preliminares e informações que subsidiem a definição/adaptação de sistemas de produção mais adequados às condições edafoclimáticas brasileiras (em especial as semiáridas), principalmente no que se diz respeito aos aspectos nutricionais.

O diagnóstico do estado nutricional das plantas é fundamental para que se conheça e avalie sob quais aspectos nutricionais, a planta se encontra (DEUS *et al.*, 2012). A interpretação de resultados de análise de tecidos vegetais como forma de avaliação do estado nutricional tem sido amplamente utilizada de forma a permitir intervenções mais precisas em sistemas de produção através de práticas de manejo e adubação (URANO *et al.*, 2006).

Existem diferentes métodos para avaliação do estado nutricional, podendo-se destacar métodos clássicos como o nível crítico (NC) (PREVOT; OLLAGNIER, 1956) e faixa de suficiência (FS) (DOW; ROBERTS, 1982). Entretanto, esses métodos apresentam a limitação de não permitir extrapolação dos resultados para condições edafoclimáticas diferentes das quais foram determinados (DIAS *et al.*, 2010).

Segundo Fernandes (2010), uma boa alternativa ao NC é o método da linha de fronteira (LF), proposto por Walworth *et al.* (1986). Esse método prevê o relacionamento entre os teores de nutrientes com a produtividade e permite determinar o nível ótimo do nutriente ou relações no tecido vegetal, além de possibilitar a estimativa da produção máxima para qualquer conjunto de dados. Em relação à FS, Wadt *et al.* (1998) propôs o método da chance matemática (ChM) como uma boa alternativa, na qual se procede a classificação dos teores foliares de um dado nutriente em ordem crescente e o relacionamento destes teores com a produtividade nos talhões de amostragem (SERRA *et al.*, 2010).

Na literatura, são escassas informações a respeito da avaliação do estado nutricional para a maioria das culturas, em especial a pitáia. Com base no exposto, objetivou-se avaliar e determinar através dos métodos LF e ChM, o NC e FS para os nutrientes N, K, P e Zn, em pitáias submetidas a diferentes combinações de doses de N-K e P-Zn, respectivamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos durante um período de seis meses, em casa de vegetação localizada no Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), situado na cidade de Fortaleza-CE, nas coordenadas geográficas 3°43'02" de latitude S e 38°32'35" de longitude WGr, numa altitude de 19,6 m referenciada pelo nível do mar. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw'. Trata-se de uma região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, com temperatura média anual de 26,5 °C.

O plantio das partes propagativas de pitáia foi realizado em vasos com capacidade para 12 dm³, preenchidos com 10 dm³ de substrato. O substrato foi amostrado e encaminhado ao laboratório, onde foi analisado quanto às suas características químicas (Tabela 1).

Como materiais propagativos utilizaram-se estacas agrupadas em três classes de comprimento: pequeno (8-20 cm), médio (21-33 cm) e grande (34-46 cm), havendo a distribuição de pelo menos duas estacas de tamanho médio dentre as quatro repetições utilizadas para cada tratamento. A irrigação foi realizada manualmente. Para a manutenção do teor de umidade do substrato, em torno de 60%, usaram-se bécueres contendo quantidades de água calculadas. Por sua vez, o tutoramento das plantas foi realizado aos 95 dias, tendo em vista o acentuado crescimento vegetativo das plantas, a partir desse período.

Tabela 1 - Análise química do substrato utilizado para o preenchimento dos vasos experimentais

pH (água)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	P	Cu	Fe	Zn	Mn	M.O
	mmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³					
7,2	0,40	0,30	0,20	0,10	0,0	0,0	18,0	0,50	30,16	2,48	2,26	1,80

Extratores: P, Na e K - Mehlich-1; Ca, Mg e Al - KCl 1 mol/L; H+Al - Acetado de cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0; pH - Água na relação 1:2,5

Em virtude da ausência de recomendação de adubação para a cultura da pitaia, as doses foram estimadas com base na recomendação geral citada por Malavolta (1981) para experimento em vasos, boletins técnicos da cultura do abacaxi e experimentos conduzidos com palma forrageira. No experimento I foram testadas cinco doses de N (0; 150; 300; 450 e 600 mg dm⁻³) e cinco doses de K (0; 75; 150; 225 e 300 mg dm⁻³), enquanto que no experimento II combinou-se cinco doses de P (0; 75; 150; 225 e 300 mg dm⁻³) e cinco doses de Zn (0; 2; 4; 6 e 8 mg dm⁻³). Os níveis de N-K (experimento I) e P-Zn (experimento II) foram arrançados, em esquema fatorial 5x5 com quatro repetições. Os adubos utilizados como fonte de N e K, e de P e Zn foram, respectivamente, uréia (45% de N) e cloreto de potássio (60% de K₂O), superfosfato triplo (45% de P₂O₅) e sulfato de zinco (20% de Zn). Para a adubação básica (igual em todos os vasos) foram utilizados 832,0 mg dm⁻³ de superfosfato simples e 27,7 mg dm⁻³ de FTE BR-12 no experimento I, e 62,50 mg dm⁻³ de cloreto de potássio, 375,0 mg dm⁻³ de sulfato de amônio e 25,4 mg dm⁻³ de FTE BR-11, no experimento II. À exceção dos superfosfatos triplo e simples, FTE BR-12 e FTE BR-11, que foram aplicados em quantidade total durante o preenchimento dos vasos, os demais adubos foram adicionados em cobertura, através de cinco aplicações iguais.

Aos 180 dias do plantio dos cladódios (cerca de 150 dias após a aplicação dos tratamentos), fez-se a análise fenológica das plantas, a coleta dos cladódios laterais e a amostragem do substrato utilizado para o preenchimento dos vasos. A massa seca total (MST) foi determinada pelo somatório entre as massas seca da parte aérea (MSPA) e sistema radicular (MSSR). O material foi moído, para determinação dos teores de N e K, P e Zn na parte aérea, conforme metodologia descrita pela Embrapa (2009).

Para a determinação das FS foram utilizados os métodos da LF (WALWORTH *et al.*, 1986) e ChM (WADT *et al.*, 1998). Normalmente para a realização da diagnose do estado nutricional de plantas utilizam-se os teores de nutrientes na folha, porém no caso da pitaia, que se trata de uma cactácea suculenta, utilizou-se os teores presentes na MSPA e como “produtividade” a massa seca total (MST) (as plantas encontravam-se em fase de crescimento inicial). Os resultados das análises químicas

dos teores dos nutrientes N, K, P e Zn foram tabulados com seus respectivos valores de MST em planilha eletrônica.

Para aplicação do método LF, relacionou-se os valores de MST com os teores de nutrientes na parte aérea da planta, através de gráficos de dispersão. Por meio desse método foram selecionados os pares de dados (X,Y) referentes a região superior (fronteira) da nuvem de pontos das relações, sendo esse procedimento realizado com o auxílio do aplicativo computacional “Boundary Fit” em desenvolvimento pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Em seguida, foram geradas equações de regressão com os pares de dados selecionados, e utilizados no estabelecimento das faixas de suficiência.

Para aplicação do método da ChM, separou-se os dados em dois grupos, de alta e baixa produtividade. Para alta produtividade foram considerados valores de MST maiores e/ou iguais a 40,62 g planta⁻¹ no experimento I, e MST maior e/ou igual a 41,66 g planta⁻¹ no experimento II.

Para cada nutriente, determinou-se a amplitude (A) dos teores e calculou-se o número de classes possíveis (I) com base no tamanho da amostra (n), em que $I = n^{0.5}$ (WADT *et al.*, 1998). O intervalo de classe (IC) foi obtido pelo quociente entre amplitude (A) e número de classes possíveis (I), ou seja: $IC = A/I$. O cálculo da ChM para pitaia foi obtido a partir da equação 1 (WADT *et al.*, 1998):

$$ChM = \{ [P(Ai/A) \cdot PRODi] \cdot [P(Ai/Ni) \cdot PRODi] \}^{0.5} \quad (1)$$

em que: ChM = chance matemática na classe “i”; P(Ai/A) = frequência de plantas de alta produtividade na classe “i”, em relação ao total geral de plantas de alta produtividade ($A = \sum Ai$); P(Ai/Ni) = frequência de plantas de alta produtividade na classe “i”, em relação ao total de plantas da classe “i”; PRODi = produtividade média das plantas de alta produtividade, na classe “i”.

Em seguida, a ChM de cada classe foi dividida pelo maior valor de ChM e multiplicada por 100 para obter-se a Chance Matemática Relativa (ChMR, %), conforme utilizado por Fernandes (2010). Com o auxílio do aplicativo *Curve Expert Basic 1.4*, relacionou-se os valores de ChMR com os teores médios do nutriente, obtidos para cada classe. Com isso, gerou-se equações de regressão, sendo selecionadas as que melhor ajustaram-se aos dados no estabelecimento das faixas de suficiências.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros estatísticos da base de dados e a amplitude dos teores de N, K, P e Zn para as unidades experimentais denominadas de alta e baixa produtividade estão apresentados na Tabela 2.

As plantas de pitaia com maiores massa seca apresentaram também maiores teores médios, mínimos e máximos de nutrientes, com exceção de Zn, para o qual, os maiores valores foram evidenciados em plantas com massa seca inferior à média das amostras de baixa produtividade. Essa diferença observada entre os teores de Zn (micronutriente) e N, K e P (macronutrientes) na parte aérea, tem relação com a estreita faixa entre deficiência e toxicidade dos micronutrientes em plantas.

Com base no método da ChM foram obtidos os seguintes resultados: para N, observou-se que a maior produtividade média 57,50 g planta⁻¹ foi obtida para a classe 9, na qual os teores variaram de 26,4 a 29,4 g kg⁻¹ de N. Entretanto, apenas 33,30% das plantas com teores de N dentro dessa faixa foram estimadas como de alta produtividade (Tabela 3). Em ordem decrescente, as classes 4; 5 e 7 apresentaram os maiores percentuais de plantas com alta produtividade, os quais foram iguais a 100,00; 77,80 e 66,70%, respectivamente. Não necessariamente a faixa de teor do nutriente com o maior percentual de plantas com alta produtividade irá corresponder ao maior valor de ChMR. Como observado para o presente resultado, na qual a maior ChMR foi obtida pela classe 5 (77,80%) e não pela 4 (100,00%). Isso ocorre devido a equação do método da ChM considerar o número de plantas dentro de cada classe e a frequência de plantas de alta produtividade na mesma, como por exemplo, 5 plantas da população analisada apresentaram seus teores dentro da classe 4, e destas todas foram de alta produtividade, sendo a representatividade dessa classe pequena em comparação com a classe 5, que obteve 18 plantas dentro dessa classe e das quais 14 foram de alta produtividade.

Essas respostas também foram evidenciadas por Urano *et al.* (2007) para a cultura da soja e por Deus *et al.* (2012) para a cultura do amendoim. Os autores ressaltaram que a interpretação isolada dos percentuais de plantas com alta produtividade pode culminar em conclusões precipitadas, devendo-se assim, observar-se todo o universo de amostragem. Portanto, com base nesses resultados pode se inferir que a faixa de suficiência (FS) ótima para pitaia é inferior ao intervalo de 26,4 a 29,4 g kg⁻¹ (Classe 9), estando provavelmente em torno de 14,5 a 17,5 g kg⁻¹ (Classe 5), que corresponde a ChMR de 100%.

Para o K, a maior produtividade média em plantas de alta produtividade foi obtida para a classe 7, na qual os

teores oscilaram de 34,9 a 38,8 g kg⁻¹. Além disso, a classe 7 apresentou a maior ChMR (100,00%), indicando que a faixa de suficiência ótima para K deve estar bem próxima dessa amplitude de teores. Com base nesses resultados, é possível estabelecer de maneira subjetiva, qual o intervalo de teores mais recomendados para que sejam alcançadas as maiores produtividades. Uma alternativa, por exemplo, é utilizar classes com valores de ChMR acima de 60% até a classe que apresente o valor de máxima ChMR. Nesse caso, a amplitude seria de 31,0 a 38,8 g kg⁻¹, que compreende o limite inferior da classe 6 e superior da classe 7, respectivamente.

Ainda em relação às faixas de suficiência, tanto K como N, possuem classes com ChMR acima de 60%, classes 8 e 7, respectivamente, com faixas de teores acima do intervalo obtido para a ChMR 100%. Do ponto de vista prático não é interessante para o produtor manejar nutricionalmente a lavoura a fim de atingir tais teores, pois estes correspondem à faixa em que a planta possui consumo de luxo, ou seja, a absorção de nutrientes não ocasionará incremento, pois a planta atingiu sua produtividade máxima. Isso implica em maiores gastos com fertilizantes sem haver o devido retorno econômico.

Wadt *et al.* (2013) buscando estabelecer valores de referência (faixas de suficiência) para cultura do arroz no Estado do Rio Grande do Sul utilizaram dois cenários para determinar faixas de suficiência ótima. Através do método da ChMR, na qual os autores utilizaram classes com valores de ChMR (≥ 50 e 40%), os mesmos obtiveram faixas mais amplas com a ChMR_{40%} em comparação com ChMR_{50%} para os macro e micronutrientes avaliados, com exceção apenas para Ca, B e Zn, cujas as faixas foram iguais nos dois cenários.

Em relação ao P, a classe 6 apresentou a maior produtividade média, entretanto, o percentual de plantas com alta produtividade e a ChMR obtida para essa classe foram de apenas 33,30 e 38,97%, respectivamente (Tabela 4). Dessa forma, a amplitude de 5,9 a 6,6 g kg⁻¹ de P que corresponde a classe que obteve ChMR 100%, é a faixa de teores mais próxima da amplitude ótima para o P. Outras duas classes (8 e 9) apresentaram ChMR superior a 60%, entretanto, os teores correspondentes a essas classes estão acima da faixa de teores correspondente a ChMR 100%, ou seja, provavelmente encontram-se na faixa correspondente ao consumo de luxo, podendo até atingir níveis tóxicos ou desequilíbrio nutricional na planta.

Vale ressaltar que além da precaução em relação ao consumo de luxo é indispensável o monitoramento nutricional para que a planta não atinja o estágio de toxidez, fase logo após o consumo de luxo, que além dos danos fisiológicos ocasionados pelo excedente de nutriente no tecido vegetal haverá redução da produtividade e prejuízos.

Tabela 2 - Valores referentes aos teores de N, K, P e Zn na massa seca da parte aérea (MSPA) de pitaia (*Hylocereus undatus* Haw), nas unidades experimentais de alta e baixa produtividade

	Alta				Baixa			
	N	K	P	Zn	N	K	P	Zn
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	
Mín	12,4	15,8	3,4	51,0	2,6	11,4	1,4	63,1
Máx	30,0	50,5	8,8	233,1	32,4	45,9	6,4	264,6
Méd	19,7	34,9	6,2	139,8	16,2	26,5	3,9	146,1
DP	4,5	8,7	1,2	57,8	8,4	8,5	1,4	59,3
CV (%)	22,84	24,27	19,22	41,32	51,91	32,05	37,36	40,61

Mín - valores de mínimo; Máx - valores de máximo; Méd - valores médios; DP - desvio padrão; CV - coeficiente de variação

Tabela 3 - Valores de chance matemática (ChM) estabelecidos para diferentes classes de distribuição de teores de N e K na massa seca parte aérea (MSPA) de pitaia (*Hylocereus undatus*) em função de doses de nitrogênio-potássio

Classe	L _{Li} ¹	L _{Si} ²	Ni ³	Ai ⁴	P(Ai/A) ⁵	P(Ai/Ni) ⁶	Prod ⁷	ChMi ⁸	T _{Mi} ⁹	ChMiRel ¹⁰
1	2,6	5,6	16	0	0,000	0,000	0,00	0,00	4,1	0,00
2	5,6	8,6	4	0	0,000	0,000	0,00	0,00	7,1	0,00
3	8,6	11,5	0	0	0,000	0,000	0,00	0,00	10,0	0,00
4	11,5	14,5	5	5	0,109	1,000	51,00	16,81	13,0	67,76
5	14,5	17,5	18	14	0,304	0,778	51,00	24,81	16,0	100,00
6	17,5	20,5	13	5	0,109	0,385	51,00	10,43	19,0	42,02
7	20,5	23,4	18	12	0,261	0,667	50,41	21,03	21,9	84,73
8	23,4	26,4	16	7	0,152	0,438	54,71	14,12	24,9	56,90
9	26,4	29,4	6	2	0,043	0,333	57,50	6,92	27,9	27,90
10	29,4	32,4	4	1	0,022	0,250	45,00	3,32	30,9	13,37
Potássio										
1	11,4	15,3	4	0	0,000	0,000	0,00	0,00	13,4	0,00
2	15,3	19,2	5	3	0,065	0,600	48,33	9,56	17,3	34,40
3	19,2	23,1	16	4	0,087	0,250	46,50	6,86	21,2	24,67
4	23,1	27,0	13	2	0,043	0,154	47,50	3,88	25,1	13,98
5	27,0	31,0	18	3	0,065	0,167	51,66	5,39	29,0	19,38
6	31,0	34,9	12	8	0,174	0,667	53,00	18,05	32,9	64,93
7	34,9	38,8	12	12	0,261	1,000	54,41	27,79	36,8	100,00
8	38,8	42,7	9	7	0,152	0,778	50,57	17,40	40,7	62,60
9	42,7	46,6	7	3	0,065	0,429	48,33	8,08	44,6	29,07
10	46,6	50,5	4	4	0,087	1,000	53,75	15,85	48,5	57,03

¹Limite inferior da classe "i", ²Limite superior da classe "i", ³Frequência das plantas na classe "i", ⁴Frequência das plantas de alta produtividade na classe "i", ⁵Frequência das plantas de alta produtividade na classe "i" em relação ao total das plantas de alta produtividade, ⁶Frequência das plantas de alta produtividade na classe "i" em relação ao total das plantas na classe "i", ⁷Produtividade média das plantas de alta produtividade na classe "i", ⁸Chance matemática na classe "i", ⁹Teor médio da classe "i", ¹⁰Chance matemática relativa na classe "i"

Para micronutrientes esse cuidado deve ser ainda maior, independentemente da cultura ou sistema de cultivo. Esses nutrientes apresentam uma estreita amplitude entre níveis de deficiência e toxidez (RESENDE, 2003; ZANÃO JÚNIOR; LANA; GUIMARÃES, 2007).

Para o Zn, a maior produtividade média em plantas de alta produtividade foi obtida para a classe 5, na qual 40% de plantas apresentaram uma amplitude de 136,4 a 157,8 g kg⁻¹. Devido a reduzida representatividade de plantas de alta produtividade foi obtida uma ChMR de apenas 39,11%. A maior ChMR (100,00%) foi obtida para a concentração de 179,2 a 200,5 g kg⁻¹, a qual correspondeu a classe 7. Enquanto a segunda maior ChMR foi obtida pela classe 1 com

valor de 83,92%. Esse tipo de resultado no qual classes com maiores ChMR posicionam-se muitos distantes entre si, é incomum. É possível que o elevado valor de ChM na classe 1, que possui amplitude com os menores teores de Zn da população, tenha ocorrido através de um efeito de diluição do P em relação ao Zn, na parte aérea.

Como a ChM é um método que analisa um nutriente por vez, não é possível através do mesmo, afirmar que essa distância entre as classes 1 e 7 tenha ocorrido por algum efeito de interação, porém, na literatura há diversos trabalhos que relatam a interação entre P-Zn, e que a mesma pode promover efeito de diluição de Zn na parte aérea (MUNER *et al.*, 2011;

Tabela 4 - Valores de chance matemática (ChM) estabelecidos para diferentes classes de distribuição de teores de P e Zn na massa seca parte aérea (MSPA) de pitaia (*Hylocereus undatus*) em função de doses de fósforo-zinco

Classes	LI ¹	LSi ²	Ni ³	Ai ⁴	P(Ai/A) ⁵	P(Ai/Ni) ⁶	Prodi ⁷	ChMi ⁸	TMi ⁹	ChMiRel ¹⁰	
Fósforo											
	----- g kg ⁻¹ -----						----- g planta ⁻¹ -----		g kg ⁻¹	-----%-----	
1	1,4	2,2	13	0	0,000	0,000	0,00	0,00	1,8	0,00	
2	2,2	2,9	7	0	0,000	0,000	0,00	0,00	2,5	0,00	
3	2,9	3,7	6	2	0,048	0,333	47,00	5,92	3,3	23,17	
4	3,7	4,4	9	3	0,071	0,333	46,33	7,15	4,0	27,97	
5	4,4	5,1	8	0	0,000	0,000	0,00	0,00	4,8	0,00	
6	5,1	5,9	15	5	0,119	0,333	50,00	9,96	5,5	38,97	
7	5,9	6,6	25	17	0,405	0,680	48,72	25,56	6,2	100,00	
8	6,6	7,3	9	7	0,167	0,778	47,85	17,23	7,0	67,41	
9	7,3	8,1	6	6	0,143	1,000	46,66	17,64	7,7	69,01	
10	8,1	8,8	2	2	0,048	1,000	47,50	10,37	8,4	40,55	
Zinco											
	----- mg kg ⁻¹ -----						mg kg ⁻¹				
1	51,0	72,4	13	8	0,190	0,615	45,40	15,55	61,7	83,92	
2	72,4	93,7	17	5	0,119	0,294	47,40	8,87	83,0	47,88	
3	93,7	115,1	6	3	0,071	0,500	51,66	9,76	104,4	52,71	
4	115,1	136,4	15	4	0,095	0,267	45,25	7,21	125,8	38,93	
5	136,4	157,8	5	2	0,048	0,400	52,50	7,25	147,1	39,11	
6	157,8	179,2	9	4	0,095	0,444	48,75	10,03	168,5	54,14	
7	179,2	200,5	17	10	0,238	0,588	49,50	18,52	189,8	100,00	
8	200,5	221,9	10	4	0,095	0,400	50,00	9,76	211,2	52,68	
9	221,9	243,2	6	2	0,048	0,333	45,00	5,67	232,6	30,60	
10	243,2	264,6	2	0	0,000	0,000	0,00	0,00	253,9	0,00	

¹Limite inferior da classe "i", ²Limite superior da classe "i", ³Frequência das plantas na classe "i", ⁴Frequência das plantas de alta produtividade na classe "i", ⁵Frequência das plantas de alta produtividade na classe "i" em relação ao total das plantas de alta produtividade, ⁶Frequência das plantas de alta produtividade na classe "i" em relação ao total das plantas na classe "i", ⁷Produtividade média das plantas de alta produtividade na classe "i", ⁸Chance matemática na classe "i", ⁹Teor médio da classe "i", ¹⁰Chance matemática relativa na classe "i"

REIS JUNIOR; MARTINEZ, 2002). Carneiro *et al.* (2008), trabalhando com a cultura do milho em dois cultivos sucessivos, observaram que aplicação de fonte solúvel de P no sulco de plantio reduziu os teores de Zn na planta, porém, sem afetar significativamente a produtividade da cultura.

Após a execução da ChM, relacionou-se os teores médios de cada classe com seus respectivos valores de ChMR (Figura 1), de modo a estabelecer-se as faixas de suficiência (Tabela 5) por meio de equações de regressão. Semelhantemente foram estabelecidas as faixas de suficiência pelo método linha de fronteira (LF) (Figura 2), na qual relacionou-se os teores de nutrientes que se encontravam sobre a LF com a MST da planta.

Para a ChM foram obtidos o nível crítico (NC) e a faixa de suficiência (FS) para N, K, P e Zn, sendo as faixas classificadas em ótima: 13,9 a 15,9 g kg⁻¹ de N; 33,7 a 36,9 g kg⁻¹ de K; 6,2 a 6,6 g kg⁻¹ de P e 87,9 a 132,4 mg kg⁻¹ de Zn (referente a 90 e 100% da ChMR). Pode-se inferir que os limites inferiores desses intervalos (13,9; 33,7 e 6,2 g kg⁻¹ de N, K e P, respectivamente, e 87,9 mg kg⁻¹ de Zn) correspondem ao NC ou teor de nutriente em que há a máxima eficiência econômica, ao passo que os seus limites superiores (15,9; 36,9 e 6,6 g kg⁻¹ de N, K e P, respectivamente, e 132,4 mg kg⁻¹

de Zn) expressaram o teor necessário para obter-se a máxima produtividade física.

De forma semelhante a ChM, foram determinados o NC e FS para a LF, sendo obtidos como faixas ótimas: 12,3 a 18,1 g kg⁻¹; 23,7 a 37,7 g kg⁻¹; 3,8 a 6,1 g kg⁻¹ e 83,1 a 144,4 mg kg⁻¹ para N, K, P e Zn, respectivamente. Essas amplitudes correspondem aos teores de nutrientes necessários para obter 90 e 100% da MST estimada. Os limites inferiores dos referidos intervalos (12,3; 23,7 e 3,8 g kg⁻¹ para N, K e P, respectivamente, e 83,1 mg kg⁻¹ de Zn) expressaram o NC ou teor equivalente à máxima eficiência econômica enquanto os limites superiores (18,1; 37,7 e 6,1 g kg⁻¹ para N, K e P, respectivamente, além de 144,4 mg kg⁻¹ de Zn) equivaleram à máxima produtividade física.

Esses resultados corroboraram com as faixas de N e K obtidas por Moreira *et al.* (2012) em estudo do efeito da adubação orgânica e granulado bioclástico sobre a produtividade e os teores de nutrientes em cladódios de pitaia. Os autores obtiveram os resultados mais satisfatórios para as seguintes amplitudes: 11,0 a 16,0 g kg⁻¹ de N e 23,0 a 26,0 g kg⁻¹ de K, sendo essas faixas concordantes com a FS obtidas pela LF. Em relação a P, foi obtida uma amplitude de 1,9 a 3,3 g kg⁻¹ de P, inferior a faixa ótima obtida pela LF, porém dentro da faixa

Figura 1 - Chance Matemática Relativa (ChMR) para MST de pitaia (*Hylocereus undatus*), em função dos teores médios de N (A), K (B), P (C) e Zn (D) na parte aérea da planta

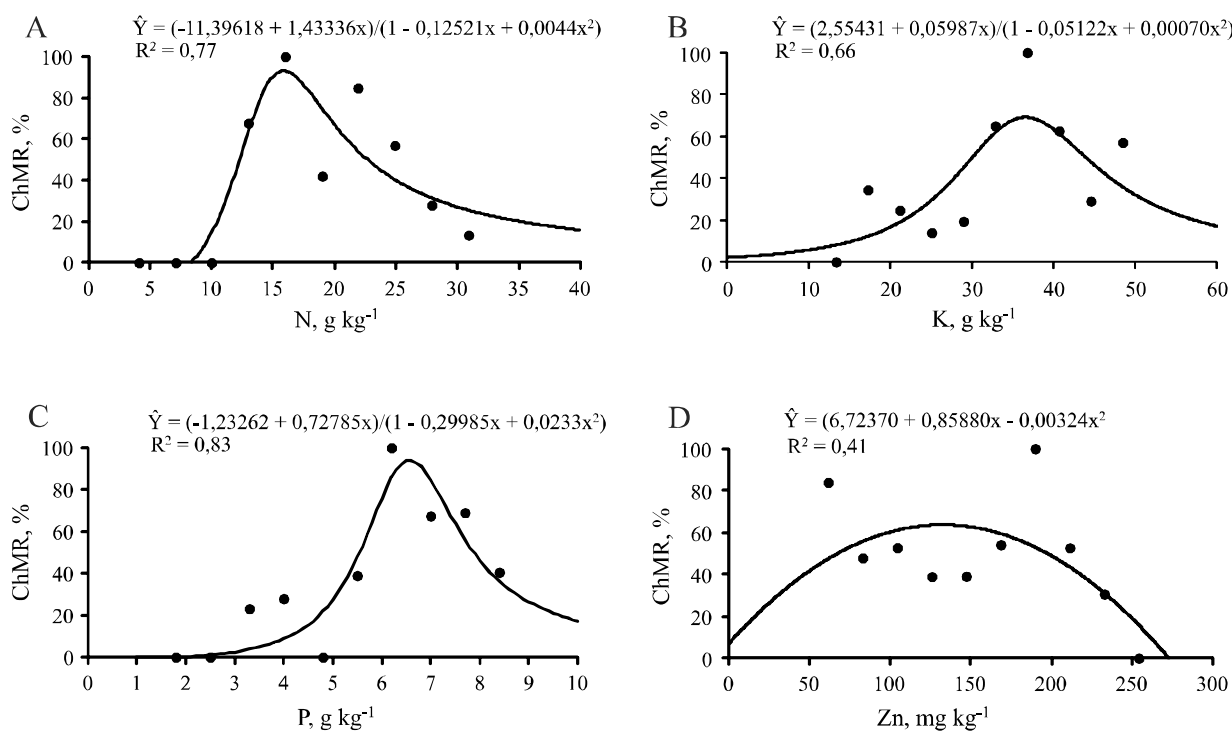


Tabela 5 - Faixas de suficiência obtidas através da chance matemática relativa e linha de fronteira para os nutrientes N, K, P e Zn em pitaia (*Hylocereus undatus*)

ChMR estimada	Teor de N	Teor de K	Teor P	Teor Zn	Faixas de suficiência
----- % -----	----- g kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----	
< 50	< 8,4	< 27,6	< 5,4	< 33,2	Muito baixa
50 - 70	8,4 - 11,7	27,6 - 30,7	5,4 - 5,8	33,2 - 55,6	Baixa
70 - 90	11,7 - 13,9	30,7 - 33,7	5,8 - 6,2	55,6 - 87,9	Infra-ótima
90 - 100	13,9 - 15,9	33,7 - 36,9	6,2 - 6,6	87,9 - 132,4	Ótima
100 - 90	15,9 - 17,9	36,9 - 40,1	6,6 - 7,0	132,4 - 176,9	Supra-ótima
90 - 70	17,9 - 20,1	40,1 - 43,1	7,0 - 7,4	176,9 - 209,2	Alta
70 - 50	20,1 - 23,4	43,1 - 46,2	7,4 - 7,8	209,2 - 231,6	Muito alta
50 >	> 23,4	> 46,2	> 7,8	> 231,6	Excessiva
LF estimada	Teor N	Teor K	Teor P	Teor Zn	Faixas de suficiência
----- % -----	----- g kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----	
< 50	< 2,8	< 1,1	< 0,1	0,0	Muito baixa
50 - 70	2,8 - 6,8	1,1 - 10,8	0,1 - 1,7	0,0 - 26,5	Baixa
70 - 90	6,8 - 12,3	10,8 - 23,7	1,7 - 3,8	26,5 - 83,1	Infra-ótima
90 - 100	12,3 - 18,1	23,7 - 37,7	3,8 - 6,1	83,1 - 144,4	Ótima
100 - 90	18,1 - 24,0	37,7 - 51,7	6,1 - 8,4	144,4 - 205,7	Supra-ótima
90 - 70	24,0 - 29,4	51,7 - 64,6	8,4 - 10,5	205,7 - 262,4	Alta
70 - 50	29,4 - 33,4	64,6 - 74,3	10,5 - 12,1	262,4 - 304,9	Muito alta
50 >	> 33,4	> 74,3	> 12,1	> 304,9	Excessiva

FS - Faixa de suficiência; ChMR - Chance matemática relativa; LF - Linha de fronteira

estabelecida como infra-ótima pelo presente método. Para o Zn, a amplitude encontrada por Moreira *et al.* (2012) foi de 30,9 a 42,5 a mg kg⁻¹, ficando dentro da faixa infra-ótima, semelhante a P. Quando comparado o P e Zn com as faixas de suficiência obtidas pela ChM, as mesmas apresentam baixa concordância, pois localizam-se nas faixas de suficiências classificadas como muito baixa e baixa, respectivamente. Conforme os autores, os baixos resultados obtidos para o Zn podem ter ocorrido, em virtude de um efeito de diluição.

Para as plantas em que os teores de N, K, P e Zn estão situados na faixa supra-ótima, espera-se que ocorra um consumo de luxo do nutriente pela planta, já que a planta atingiu o seu máximo potencial produtivo. Conforme Dias *et al.* (2010), em plantas com teores de nutrientes acima de valores como NC e FS não é esperado aumentos de produtividade mesmo que haja boa disponibilidade de nutrientes. Sendo assim, é muito importante o estabelecimento dos valores de referência (faixas de suficiência) e a realização do monitoramento

nutricional de pitaia, para promover um correto programa de adubação para a cultura e assim evitar prejuízos devido ao manejo nutricional inadequado.

Ao comparar as FS obtida pela ChM e LF (Tabela 5), observou-se que para todos os nutrientes houve menor amplitude nas faixas obtidas pela ChM. Esse fato pode ser atribuído aos modelos polinomiais pelos quais os dados foram ajustados e por apresentar elevada importância na determinação de FS, pois demonstram diferenças quanto à sensibilidade dos métodos para uma mesma base de dados (teores de nutrientes).

Apesar da diferença entre os métodos, percebeu-se que as FS obtidas para N, K e Zn pelo método ChM estão dentro das FS obtidas pela LF. No caso de Zn, observou-se que os valores dos limites inferior e superior são condizentes para ambos os métodos. Para os teores de P, a FS obtida pela ChM não ficou dentro da faixa obtida pela LF.

Outro resultado importante demonstrado por ambos os métodos foi a elevada exigência de pitaia por K. Usando-se a faixa ótima de suficiência como parâmetro, percebeu-se que a pitaia demandou em torno de duas vezes mais K do que N. Esse resultado corroboraram com Moreira *et al.* (2011), que ao avaliar a qualidade de frutos de pitaia em função de adubação orgânica, obtiveram em praticamente todos os tratamentos, duas vezes mais K do que N nos frutos.

Ao comparar a eficiência dos métodos, utilizando-se o coeficiente de determinação (R^2) como parâmetro, observou-se que o método LF apresentou valores de R^2 mais elevados que a ChM (Figuras 1 e 2). Entretanto, esse fato não significa que um método é melhor que o outro, e sim que para o conjunto de dados em questão, o método LF apresentou melhor ajuste.

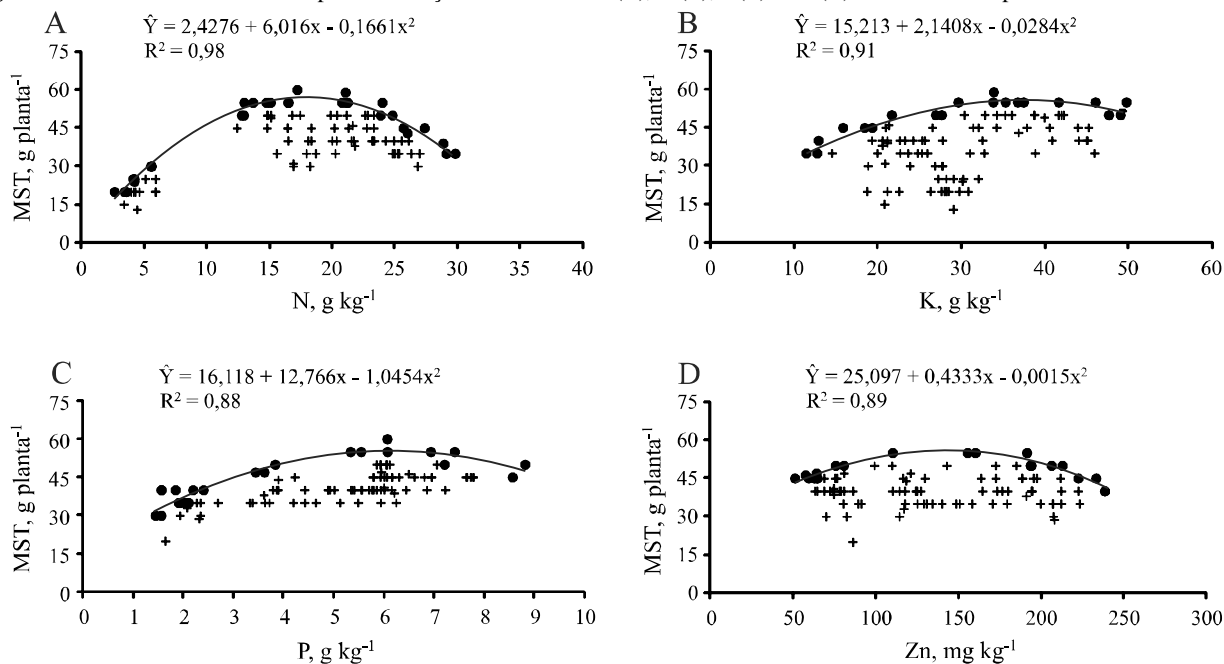
De forma semelhante, Blanco-Macías *et al.* (2010) avaliaram a cultura *Opuntia ficus-indica* L., buscando estabelecer o NC e FS através dos métodos LF e Diagnose da Composição Nutricional (CND), sendo observado superioridade do método LF em relação ao CND para as plantas que apresentavam produtividade estimada entorno de 95% da máxima produtividade. Entretanto, o CND mostrava-se mais adequado para o conjunto de plantas com produtividades inferiores, na qual os autores concluíram que os métodos de diagnose são mais complementares, que excludentes.

Conforme Serra *et al.* (2010), os métodos de diagnose foliar são compostos por diferentes procedimentos de cálculos, o que induz a obtenção de respostas divergentes, apesar de apresentarem o mesmo objetivo.

Especificamente no estudo de pitaia, que se trata de uma cultura carente de estudos preliminares sobre os teores de nutrientes adequados, o uso conjunto de diferentes métodos é bastante importante. Segundo Urano *et al.* (2006) a compreensão dos princípios utilizados por diferentes métodos de diagnose, bem como a comparação de seus resultados, é importante para a utilização criteriosa destas ferramentas de análises para a diagnose do estado nutricional das culturas. Além disso, a diagnose nutricional é uma ferramenta essencial para avaliar deficiências nutricionais, toxicidades e desequilíbrios, identificar fome oculta, ajustar programas de adubação, estudar interações de nutrientes, além de determinar a disponibilidade de elementos para os quais não foram desenvolvidas análises de solo confiáveis (MEMON; MEMONAND; HASSAN, 2005).

Em relação ao coeficiente de determinação obtido pelo método ChM, o Zn apresentou o menor R^2 (Figura 1), o que possivelmente ocorreu em virtude da grande amplitude que esse nutriente apresenta para as plantas de modo geral.

Figura 2 - Linha de fronteira obtida a partir da relação dos teores de N (A), K (B), P (C) e Zn (D) com a MST em pitaia



CONCLUSÕES

1. As faixas de suficiência classificadas como ótima para plantas de pitáia em fase inicial de crescimento, são: 13,9 a 15,9 g kg⁻¹ de N; 33,7 a 36,9 g kg⁻¹ de K; 6,2 a 6,6 g kg⁻¹ de P e 87,9 a 132,4 mg kg⁻¹ de Zn pela chance matemática. Enquanto, para a linha de fronteira: 12,3 a 18,1 g kg⁻¹; 23,7 a 37,7 g kg⁻¹; 3,8 a 6,1 g kg⁻¹ e 83,1 a 144,4 mg kg⁻¹ para N, K, P e Zn, respectivamente;
2. Os métodos chance matemática e linha de fronteira apresentam elevada concordância para N, K e Zn;
3. O método linha de fronteira apresenta elevada capacidade preditiva no ajuste dos dados, demonstrando ser uma importante ferramenta na obtenção de faixas de suficiência e valores de referência para estudos posteriores de diagnose nutricional em pitáia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pelo auxílio financeiro (Projeto 23038.006862/2010-02 - Edital 029/2010), ao CNPq pela bolsa de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará e a EMBRAPA - Agroindústria Tropical pelo auxílio técnico-científico disponibilizado na condução da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, D. C. *et al.* Propagação da pitaya 'vermelha' por estaquia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1106-1109, 2006.
- BLANCO-MACÍAS, F. *et al.* Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, n. 6, p. 927-934, 2010.
- CARNEIRO, L. F. *et al.* Fonte, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1133-1141, 2008.
- DEUS, J. A. L. *et al.* Chance matemática na determinação do estado nutricional do amendoim. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 351-357, 2012.
- DIAS, J. R. M. *et al.* Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 64-71, 2010.
- DONADIO, L. C. Pitaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 637-929, 2009.
- DOW, A. I.; ROBERTS, A. I. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 2, p. 401-403, 1982.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- ESTELLENA, N. T. **Dragon fruit production guide. Pinoy bisnes ideas: money making business ideas for entrepreneurs**. Disponível em: <<http://www.pinoybisnes.com/agribusiness/dragon-fruit-production>>. Acesso em: 22 nov. 2013.
- FERNANDES, L. V. **Normas e determinação de faixas de suficiência para diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; INBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, n. 4, p. 237-250, 2006.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594 p.
- MEMON, N.; MEMONAND, K. S.; HASSAN, Z. U. Plant analysis as a diagnostic tool for evaluating nutritional requirements of bananas. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 7, p. 824-831, 2005.
- MOREIRA, R. A. *et al.* Produção e qualidade de frutos de pitáia-vermelha com adubação orgânica e granulado bioclástico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 762-766, 2011. Número especial.
- MOREIRA, R. A. *et al.* Produtividade e teores de nutrientes em cladódios de pitáia vermelha utilizando-se adubação orgânica e granulado bioclástico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 5, p. 714-719, 2012.
- MUNER, L. H. *et al.* Disponibilidade de zinco para milho em resposta à localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 29-36, 2011.
- ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 220-237, 2012.
- PREVOT, P.; OLLAGNIER, M. Methode d'utilisation du diagnostic foliarie. In: **Plant analysis and fertilizer problems**. Paris: I.H.R.O, 1956. p. 177-192.
- REIS JÚNIOR, R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.
- RESENDE, A. V. **Adubação com micronutrientes no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 43 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 80). Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=>. Acesso em: 27 jan. 2014.
- SERRA, A. P. *et al.* Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos ChM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 34, n. 1, p. 105-113, 2010.
- URANO, E. O. M. *et al.* Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1421-1428, 2006.

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 Ciências do Solo**, v. 31, n. 1, p. 63-72, 2007.

WADT, P. G. S. *et al.* O Método da chance matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de talhões florestais sob condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 775-780, 1998.

WADT, P. G. S. *et al.* Padrões nutricionais para lavouras arrozais irrigadas por inundação pelos métodos da CND e

chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 145-156, 2013.

WALWORTH, J. L. *et al.* Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 123-128, 1986.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.