

RAYANY ANDRADE MARTINS



**ACURÁCIA DA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE P E K
EM CAUPI**

RIO BRANCO - AC

2015

RAYANY ANDRADE MARTINS

**ACURÁCIA DA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE P E K
EM CAUPI**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Dr. Paulo Guilherme S. Wadt

RIO BRANCO - AC

2015

RAYANY ANDRADE MARTINS

**ACURÁCIA DA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE P E K
EM FEIJÃO CAUPI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

APROVADA em 22 de maio de 2015



Prof. Dr. Paulo Guilherme Salvador Watt
Embrapa Rondônia
Orientador



Dr. Enrique Anastácio Alves
Embrapa Rondônia
Membro



Prof. Dr. Luís Pedro de Melo Plese
Instituto Federal do Acre
Membro



Profa. Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira
Universidade Federal do Acre
Membro

RIO BRANCO - AC
2015

Aos meus familiares
Pelas horas de dedicação e apoio
Dedico

AGRADECIMENTOS

É, chegou o grande momento que um dia sonhei e agora está se tornando realidade, mas para chegar aqui necessitei de muita ajuda e gostaria de agradecer:

A DEUS, pela vida e por tudo;

A todos aqueles que sempre confiaram em mim, desde sempre. À minha família e aos meus verdadeiros amigos.

A Universidade Federal do Acre pela oportunidade e realização do Curso de Pós-graduação em Agronomia;

Ao Pesquisador Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt pela valiosa orientação, pelo incentivo à pesquisa e confiança;

Aos meus professores da Pós-graduação pelos ensinamentos, incentivo e dedicação ao ensino e a pesquisa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos para a realização da pesquisa.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a construção desta dissertação e que aqui não estão citados, mas que nunca serão esquecidos.

RESUMO

A utilidade de um diagnóstico depende da capacidade de se realizar prognósticos corretos do estado nutricional da planta com base em sua resposta após aplicação de nutrientes. Neste sentido, objetivou-se em estabelecer a acurácia do método da Diagnose da Composição Nutricional, e suas variações, na avaliação do estado nutricional de fósforo e potássio em caupi. Por meio de dados de análise foliar e de produtividade de ensaios de adubação P e K em caupi, em dois anos de cultivo. Avaliou-se o desempenho do diagnóstico nutricional para esses nutrientes, empregando-se a Diagnose da Composição Nutricional (CND) e o Nível crítico (NC). Utilizando o critério do Potencial de Resposta à adubação – PRA, diagnosticou-se as plantas em deficiente ou adequado e, com base na resposta na produção de grãos à aplicação de P ou K, classificaram-se os diagnósticos como verdadeiros (V) ou falsos (F). Os resultados indicaram que para o diagnóstico de P, a eficiência dos diagnósticos pelo método do CND foi de 64% com incremento no rendimento de 129 kg ka⁻¹ de grãos secos e o NC foi de 58% com decréscimo na produtividade de -10,8 kg ha⁻¹. Para K essa eficiência pelo CND foi de 43% com produtividade de -32 kg ha⁻¹ e o NC foi de 49% com -47 kg ha⁻¹. Na avaliação do método do Potencial de Resposta a Adubação verificou-se que a forma como vem sendo utilizado na literatura pode proporcionar baixa eficiência do método CND, diminuindo sua vantagem frente ao método do nível crítico.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp.; Diagnose nutricional; Análise foliar; nível crítico; CND.

ABSTRACT

Good diagnosis are dependents of the ability to accurate predictions of the nutritional status of the plant based on its response after application of nutrients. In this work was try to establish in the accuracy of the Compositional Nutrient Diagnosis method, and its variations, in assessing the nutritional status of phosphorus and potassium in cowpea. Compositional Nutrient Diagnosis (CND) and the critical level (NC) methods evaluated the leaf analysis and productivity data in fields with P and K fertilizer experiments in cowpea, in two years of cultivation. Using the criterion response potential to fertilization - RPF, plants in poor or adequate was diagnosed and, based on the response in grain production the application of P or K, the diagnostics were classified as true (T) or false (F). The results indicated that for the diagnosis of P with CND for the diagnostic efficiency of the method was 64% with an increase in the yield of 129 kg k⁻¹ dry grain and CN was 58% with a decrease in productivity -10.8 kg ha⁻¹. K to this efficiency by CND was 43% with a in productivity - 32 kg ha⁻¹ and NC was 49% with a of -47 kg ha⁻¹. In the evaluation of the RPF method, we found low efficiency by the CND method, reducing their advantage over the critical level method.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp.; Nutritional diagnosis; Foliar analysis; Critical level; CND.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Produção de caupi em relação ao IBNm.	31
FIGURA 2 – Produção de caupi em relação ao índice CND para P.....	31
FIGURA 3 – Produção de caupi em relação ao índice CND para K.....	32
FIGURA 4 – Produtividade de caupi em relação ao teor foliar de P.....	32
FIGURA 5 – Produtividade de caupi em relação ao teor foliar de K.....	33
FIGURA 6 – Número de caso de parcelas, consideradas nutricionalmente deficientes em função da redução a amplitude do valor de IBNm.....	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Critérios para interpretação do estado nutricional do feijão-caupi com base nos métodos do nível crítico (NC) segundo diferentes autores.	26
TABELA 2 – Distribuição da adequação de diagnósticos nutricionais.	28
TABELA 3 – Medidas de acurácia, amplitude esperada e valores aceitáveis na avaliação do desempenho de diagnósticos nutricionais (adaptado de BEVERLY ;HALLMARK, 1992).	28
TABELA 4 – Média, desvio-padrão, valores máximos e mínimo dos teores foliares de p e k e da produtividade de grãos secos, em parcelas experimentais de caupi.....	30
TABELA 5 – Nível crítico para teores adequados de P e K em folhas de caupi.	33
TABELA 6 – Grau de concordância entre diagnósticos realizados com normas CND e nível crítico (NC) para feijão-caupi.....	34
TABELA 7 – Desempenho geral de diagnósticos nutricionais CND e NC para P e K em feijão-caupi com base em eficiência, incidência e variações no rendimento associado a diagnósticos verdadeiros e falsos admitindo-se incremento de 10% na produtividade.....	36
TABELA 8 – Desempenho de diagnósticos nutricionais CND por região para P e K em feijão-caupi com base em eficiência, incidência e variações no rendimento associado a diagnósticos verdadeiros e falsos, determinando-se incremento de 10% na produtividade.	37
TABELA 9 – Desempenho de diagnósticos nutricionais para P realizados pelo método CND versus (vs.) ajustes no IBNm vs. incremento de produtividade.....	39
TABELA 10 – Desempenho de diagnósticos nutricionais para K realizados pelo método CND versus (vs.) ajustes no IBNM vs. incremento de produtividade.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO -----	9
2 REVISÃO DE LITERATURA -----	11
2.1 O FEIJÃO CAUPI-----	11
2.2 NUTRIÇÃO MINERAL DO FEIJÃO CAUPI-----	12
2.3 IMPORTÂNCIA DO POTÁSSIO E SUA EXIGÊNCIA NA NUTRIÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI-----	14
2.4 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO E SUA EXIGÊNCIA NA NUTRIÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI-----	16
2.5 DIAGNOSE FOLIAR-----	18
2.6 INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE FOLIAR-----	19
2.7 INTERPRETAÇÃO DOS ÍNDICES NUTRICIONAIS-----	21
3 MATERIAL E MÉTODOS -----	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	30
5 CONCLUSÕES -----	42
REFERÊNCIAS -----	43

1 INTRODUÇÃO

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é reconhecido como alimento saudável e balanceado para a nutrição humana. Também conhecido popularmente por caupi, feijão-macassa ou feijão-de-corda, é cultivado no nordeste brasileiro, predominantemente por pequenos produtores. A expansão de seu cultivo tem sido verificada principalmente no Centro-Oeste em cultivos mecanizados e de grande escala (FREIRE FILHO et al., 2011).

Em ensaios experimentais, sob condições controladas, tem sido possível atingir elevadas produtividades de grãos verdes e secos. No entanto, nas lavouras comerciais ocorrem grandes variações, inclusive entre as regiões de cultivo. Por exemplo, em áreas mecanizadas da região Centro-Oeste a produtividade média é de 1800 kg ha⁻¹, na Bahia em áreas de agricultura familiar, a produtividade média é de 400 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

Vários fatores podem ser apontados como responsáveis pela determinação da produtividade nesta cultura, a maioria relacionada ao nível tecnológico dos sistemas de produção. Dentre os fatores relacionados, destaca-se a nutrição potássica e fosfatada.

A adequada nutrição destaca-se como um dos fatores determinantes da redução de custos e do aumento da produtividade das lavouras de caupi, sendo importante para a competitividade desta cultura. O conhecimento do estado nutricional torna-se deste modo uma ferramenta para a gestão da recomendação de fertilizantes em dosagens mais equilibradas e adequadas para as exigências da cultura.

Isto requer a avaliação do estado nutricional das plantas a partir de métodos baseados na interpretação de análises químicas foliares. Dentre os métodos mais utilizados, há o método do Nível Crítico (NC) e o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND).

Entretanto, a eficiência destes métodos na avaliação do estado nutricional do caupi ainda é pouco conhecida. Essa eficiência pode ser avaliada pelas medidas de acurácia, que determinam o desempenho do método de diagnóstico em avaliar corretamente o estado nutricional.

Neste trabalho objetivou-se em estabelecer a acurácia dos métodos Nível Crítico e CND, esse último interpretado pelo critério do Potencial de Resposta a Adubação e variações, na avaliação do estado nutricional de fósforo e potássio do caupi.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O FEIJÃO CAUPI

A espécie *Vigna unguiculata* tem como centro de origem a África, de onde disseminou-se para as regiões tropicais dos continentes americano, asiático e africano (FREIRE FILHO et al., 2011).

O fruto é uma vagem de tamanho e forma variáveis, contendo, no seu interior, sementes dispostas em fileiras, podendo apresentar diversas formas, tamanho e cor do tegumento. Por esta razão a classificação da semente é de extrema importância, sobretudo, para sua comercialização, pois interfere diretamente no peso e preferência do consumidor (FREIRE FILHO et al., 2011; MAFRA, 1979).

O caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) é uma leguminosa cultivada em regiões tropicais e subtropicais, tendo relevância como fonte alimentar na África, Ásia e América Latina, por se constituir em fonte de proteínas, calorias, fibras alimentares, minerais e vitaminas (CARVALHO et al., 2012; FREIRE FILHO, 2005).

De acordo com Freire Filho (1998) o caupi chegou ao Brasil no século XVI, pelos colonizadores espanhóis e portugueses, provavelmente no estado da Bahia. No Brasil apresenta vários nomes regionais, provavelmente graças a sua adaptação e participação na dieta alimentar da população, sobretudo na região Norte e Nordeste (ROCHA, 2009).

No Brasil, é conhecida como feijão-de-corda e feijão-macassa na região Nordeste em geral, mas também como feijão-fradinho nos estados de Sergipe e Bahia. O nome de feijão fradinho também é adotado no estado do Rio de Janeiro; feijão-miúdo, na região Sul; feijão-da-colônia; feijão-de-estrada e manteiguinha (muito pequeno) no Norte e como o nome de feijão-gurutuba e feijão-catador na Bahia e norte de Minas Gerais. (FREIRE FILHO et al., 2011).

Atualmente, o Brasil é um importante produtor de feijão do gênero *Phaseolus*, e o terceiro maior produtor da espécie *Vigna unguiculata*. A produção total brasileira estimada de feijão para safra de 2014/15 foi da ordem de 3,4 milhões de toneladas,

em uma área plantada de 3,2 milhões de hectares e com produtividade média de 1062 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

Além de seu valor como alimento proteico e energético para alimentação humana (ANDRADE et al., 2010; BARROS, et al., 2013), também apresenta valor como feno, silagem e farinha para alimentação animal. Além disso, é utilizado como adubação verde e cobertura do solo, atuando na recuperação de solos degradados (OLIVEIRA; CARVALHO, 1988).

Seu cultivo tem expandido pela adoção de grandes produtores do centro-oeste, que utilizam alta tecnologia e pela possibilidade de seu cultivo ser realizado em três safras no Centro-Oeste, como é realizada para o feijão comum (das águas, da seca e de inverno/irrigada) e duas safras no Sudeste (das águas e da seca), diferente da região nordeste, onde somente uma safra tem sido possível (FREIRE FILHO et al., 2011).

Segundo estimativa da CONAB (2015), a produção brasileira de feijão considerando as três safras de 2014/15 deverá ser da ordem de 3,4 milhões de toneladas onde o caupi contribuiu com 38% da área total colhida de feijões e 15% da produção total de feijões.

2.2 NUTRIÇÃO MINERAL DO FEIJÃO CAUPI

As fabáceas, como o caupi, são consideradas responsivas ao fornecimento de nutrientes, em decorrência do sistema radicular pequeno e superficial e do seu ciclo curto (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994). No entanto, possui boa tolerância a solos ácidos (CRAVO; SOUZA, 2007) e reconhecida capacidade de adaptação a estresses hídrico, térmico e salino (SILVA et al., 2013).

O caupi apresenta sistema radicular do tipo axial, superficial, com poucas raízes que podem atingir até 2,0 m de profundidade, apresentando associação simbiótica com bactérias nitrificadoras do solo (MAFRA, 1979), em especial com aquelas do gênero *Rhizobium*, o que proporciona desenvolvimento regular mesmo em solos pobres em nitrogênio, motivo pela qual também vem sendo utilizada como

adubação verde. (FREIRE FILHO, 2005; SOUZA; MOREIRA, 2011; GUEDES et al., 2010).

A produtividade de vagens e grãos frescos têm sido as características mais estudadas e avaliadas para a cultura do feijão-caupi, apresentando altas produtividades em condições experimentais com adubação adequada e baixa produtividade em lavouras comerciais pobremente adubadas; sugerindo a necessidade de estudos para ganhos em produtividade nesta cultura (MALAVOLTA et al., 1989). Em condição irrigada, Silva et al. (2013) relatam produtividade de caupi da ordem de 1.350 kg ha^{-1} de grãos verdes. Sob as mesmas condições Andrade et al. (2010) obtiveram 2.820 kg ha^{-1} de grãos verdes e 3.680 kg ha^{-1} de vagens verdes.

A baixa disponibilidade de nutrientes no solo, a falta de adubação equilibrada e até mesmo uso inadequado das adubações são atribuídos como algumas das razões para baixas produtividades do caupi em lavouras comerciais (GUALTER et al., 2008). Fonseca et al. (2010) sugerem em solos com saturação de bases acima de 50% que os teores ótimos para N e P nas folhas deveriam ser da ordem de 30 g kg^{-1} de N e $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P. No mesmo sentido, Benvindo (2012) verificou que os teores foliares foram de $36,05 \text{ g kg}^{-1}$ de K e $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ de P após adubação potássica e fosfatada respectivamente, valores estes acima dos indicados pela maioria dos demais autores.

Parry et al. (2008) sugerem como valores na faixa de suficiência teores de $16,4$ a $24,5 \text{ g kg}^{-1}$ de N. Malavolta et al. (1997) sugerem como adequados os teores: N - 18 a 22 g kg^{-1} ; P - $1,2$ a $1,5 \text{ g kg}^{-1}$; K - 30 a 35 g kg^{-1} ; Ca - 50 a 55 g kg^{-1} e Mg - 5 a 8 g kg^{-1} . Por sua vez, Dantas et al. (1979) propõe como valores adequados os seguintes níveis críticos: N - $19,7 \text{ g kg}^{-1}$; P - $1,4 \text{ g kg}^{-1}$; K - 32 g kg^{-1} ; Ca - $53,8 \text{ g kg}^{-1}$; Mg - $6,6 \text{ g kg}^{-1}$.

Os macros e micronutrientes mais extraídos pelo caupi são N, K, Ca e Fe, B, e Mn e os nutrientes são acumulados pela planta de caupi seguindo a ordem: N>K>Ca>Mg>P>Fe>B>Mn>Zn>Cu (FONSECA et al., 2010). De acordo com Sampaio e Brasil (2009), a exigência nutricional do caupi, em ordem decrescente, é 140 kg ha^{-1} de N, 84 kg ha^{-1} de Ca, 73 kg ha^{-1} de K, 17 kg ha^{-1} de Mg e 12 kg ha^{-1} de P.

2.3 IMPORTÂNCIA DO POTÁSSIO E SUA EXIGÊNCIA NA NUTRIÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI

Potássio (K) é um macronutriente com funções metabólicas relacionadas a processos fisiológicos variados nas plantas superiores, como ativação enzimática, atividade fotossintética e controle osmótico (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A deficiência de K proporciona redução da atividade fotossintética e aumento da respiração celular, resultando em crescimento lento das plantas, raízes pouco desenvolvidas, colmos frágeis, maior incidência de acamamento em cereais, maior suscetibilidade ao ataque de doenças e formação de sementes e frutos pouco desenvolvidos e desuniformes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). No caupi a deficiência de potássio reduz o crescimento do caule, número de folhas e área foliar e suas flores caem precocemente (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). A recomendação da adubação potássica em caupi tem sido formulada para atender tanto a demanda da cultura quanto as perdas por lixiviação, especialmente nos solos de textura arenosa. O parcelamento da adubação potássica também tem sido realizado para aumentar a disponibilidade do nutriente por maior tempo na zona radicular de absorção.

Embora presente altas concentrações no tecido das plantas à adubação potássica em feijão-caupi, não tem refletido no aumento da produção de grãos, o que pode ser atribuído às condições de solo onde a cultura é explorada, que de maneira geral apresentam baixos teores de potássio (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). Outro fator explica-se pelas baixas quantidades de K aplicadas na adubação: de acordo com Sampaio e Brasil (2009), mesmo o potássio sendo um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelo feijão-caupi, o valor recomendado normalmente varia entre 20 a 40 kg ha⁻¹ de K₂O.

A absorção do K pode ser inibida ou reduzida pela absorção do Ca, quando este estiver em altas concentrações na solução do solo, o mesmo ocorrendo quando altas doses de K são aplicadas na presença de doses normais de Ca (MALAVOLTA et al., 1997). Em caupi, Benvindo (2012) observou decréscimo no teor de Ca com o aumento das doses de K e de sua concentração foliar.

Em experimento realizado por Galvão et al. (2013) as doses de potássio influenciaram nos teores de N, K e Mg nas folhas do caupi, para N e K observou aumento, no entanto, para Mg observou-se antagonismo, conforme aumentou-se as doses de K foram reduzidos os teores de Mg nas folhas. Esse antagonismo com o Mg explica-se pelo de ambos competirem pelos mesmos sítios de absorção nas raízes.

De acordo com Melo et al. (2005) para o desenvolvimento adequado do caupi o teor de K nas folhas, considerado adequado, deve situar-se entre 20 a 50 g kg⁻¹. Benvindo (2012) verificou a máxima concentração de 36 g kg⁻¹. Malavolta et al. (1997) por sua vez indicam que a faixa de suficiência situe-se de 30 a 35 g kg⁻¹.

Em experimentos em Neossolo Quartzarenico e Latossolo Amarelo, ambos em Bom Jesus, Piauí, onde foi avaliado o efeito de doses crescentes de K na produtividade do caupi (0; 35; 70; 105 kg ha⁻¹ de K₂O) foi possível alcançar a máxima produtividade com aplicação de 105 kg ha⁻¹ de K₂O, o que representou 900 kg ha⁻¹ e 710 kg ha⁻¹ de grãos verdes e secos, respectivamente (BENVINDO, 2012).

Alguns autores verificaram o efeito positivo da adubação potássica na produção de leguminosas como caupi e feijão comum. Avaliando o efeito das doses de potássio (0; 50; 100; 150; 200 e 250 kg ha⁻¹) sobre o rendimento de grãos secos em caupi, Oliveira et al. (2009) obtiveram com a dose 140 kg ha⁻¹ de K₂O, a produção com máxima eficiência econômica de 1870 kg ha⁻¹ de grãos secos, com incremento de 846 kg ha⁻¹ de grãos em relação a testemunha.

Guareschi et al. (2009) observaram resposta positiva ($p < 0,05$) a adubação com potássio em feijão Azuki (*Vigna angularis*) onde o rendimento de grãos aumentou com as doses (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹) se ajustando em modelo quadrático com produtividade máxima de 1640 kg ha⁻¹ na aplicação de 42 kg ha⁻¹ de K₂O. Analisando a resposta do caupi a doses de potássio e fósforo em Latossolo Amarelo distrófico, Rodrigues et al. (2013) verificaram aumento na produtividade de grãos com máxima produtividade de 1320 kg ha⁻¹ de grãos secos com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Estudos realizados por Galvão et al. (2013) avaliando o efeito da adubação potássica em caupi após sucessão ao cultivo do sorgo sob dois sistemas de manejo, plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) mostraram máxima produtividade de 1980 kg ha⁻¹ na aplicação de 160 kg ha⁻¹ de K na forma de KCL e 1940 kg ha⁻¹ com

182 kg ha⁻¹ de KCl respectivamente, concluindo que ambos os sistemas alcançam produtividades semelhantes, mas com redução de 15% na demanda de insumos no sistema de manejo de plantio direto.

2.4 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO E SUA EXIGÊNCIA NA NUTRIÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI

O fósforo é um elemento essencial ao metabolismo das plantas, atuando nos processos metabólicos que envolvem a transferência de energia, por exemplo, nas reações que envolvam o trifosfato de adenosina (ATP), como componente de muitas proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos e substratos metabólicos, tendo assim papel fundamental nos processos de respiração e fotossíntese (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Do ponto de vista dos processos fenológicos, o fósforo atua na formação e crescimento das raízes e contribui para a qualidade dos frutos, hortaliças e grãos. Seu suprimento para as plantas deve ser adequando desde os estádios iniciais de crescimento, pois a sua deficiência retarda a maturação dos cultivos de tal forma que a planta não se recupera posteriormente (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; GRANT et al., 2001). No caupi sua deficiência provoca queda prematura de folhas, retardamento no ponto de colheita e vagens mal formadas e redução do número de grãos (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

Nas leguminosas a adubação fosfatada contribui também para o processo de nodulação das raízes, aumentando a taxa de fixação de nitrogênio atmosférico por simbiose com as bactérias diazotróficas (ANDREW; JONES, 1978).

Entre os macronutrientes, o fósforo é o elemento extraído em menor quantidade, porém está entre aqueles que limitam a produtividade do caupi em uma maior extensão. Considera-se que o nível crítico do elemento no solo, para o bom desenvolvimento da planta, está em torno de 10 mg kg⁻¹. Por sua vez, as doses recomendadas encontram-se na faixa de 20 a 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ variando conforme às reações de fixação do elemento no solo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

Por outro lado, diversos trabalhos têm mostrado resultados positivos à adubação fosfatada para o caupi, as doses necessárias para obter-se máxima produtividade apresentam variações em decorrência da ampla variabilidade genética, condições edafoclimáticas e dos teores iniciais de fósforo no solo. No estado de Roraima, Silva et al. (2010) obtiveram a máxima produtividade com 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅; compatível com Veloso et al. (2013) de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no Nordeste Paraense. Benvindo (2012) observou máxima produção de grãos na dose de 168 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por outro lado, Fernandes et al. (2013) obtiveram máxima produtividade no Amazonas, com dose estimada em 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e saturação de bases em 50%.

Estudando a resposta a adubação fosfatada em caupi, Veloso et al. (2013), verificaram aumento significativo após aplicação de fósforo e potássio em Latossolo Amarelo com teor inicial de P= 3 mg dm⁻³ e K= 27mg dm³ proporcionando máxima produção de grãos na dose estimada de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, afetando significativamente os teores de N, P, K e Ca nos dois anos de cultivo.

Silva et al. (2010) destacam a importância não somente da adubação fosfatada como também a disponibilização desse nutriente que apresenta baixo aproveitamento em decorrência das perdas relacionadas aos processos de adsorção de P pelo solo. Ao avaliarem a resposta do caupi, a doses e formas de aplicação de P, observaram que a aplicação localizada em sulco duplo com a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou maior desenvolvimento radicular e conseqüentemente maior produtividade de grãos (1.180 kg ha⁻¹) e aumento da concentração de P nas folhas (3,61 mg kg⁻¹).

Benvindo (2012), avaliando o efeito da adubação fosfatada em Neossolo Quartzarênico no município de Bom Jesus-PI, observou que a dose de 168 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na semeadura do caupi, proporcionou um aumento no número de vagens por planta e no número de sementes por planta, atingindo máxima produtividade de 1320 kg ha⁻¹ associado à concentração de P nas folhas de 3,5 g kg⁻¹.

Valderrama et al. (2009), verificaram que a adubação fosfatada na semeadura, em sistema de plantio direto, incrementou a produtividade de grãos de feijoeiro irrigado, cultivado em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, em 22%, (com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) alcançando produtividade de 2950 kg ha⁻¹.

Coutinho et al. (2014) avaliaram o efeito da adubação fosfatada (0, 100, 200, 300 kg ha⁻¹ P₂O₅) na produtividade e nos componentes de produção do caupi, em experimento conduzido em condições de campo, no município de Capitão Poço, nordeste do Pará, em Latossolo Amarelo álico onde elevou saturação de bases para 70%, verificaram que a adubação fosfatada apresentou efeito linear, onde variaram de 300 kg ha⁻¹ (testemunha) a 910 kg ha⁻¹ (dose de 300 kg ha⁻¹ P₂O₅), de acordo com os autores a resposta linear pode ser relacionado ao baixo teor de P no solo (1,3 mg dm⁻³).

2.5 DIAGNOSE FOLIAR

O pleno desenvolvimento de um vegetal depende de uma nutrição balanceada, motivo pela qual a utilização de técnicas de avaliação do estado nutricional das plantas apresenta importante papel no monitoramento e na adequação da oferta de nutrientes feita via adubação das culturas, sendo possível prevenir insucessos devido a deficiências ou excessos de nutrientes pela correção dos solos (BATAGLIA et al., 1996).

A diagnose nutricional, baseia-se na premissa de uma relação entre o suprimento de nutrientes pelo solo e os seus teores na planta, onde aumentos ou decréscimos nas concentrações dos nutrientes se relacionam com produtividades mais altas ou mais baixas respectivamente (EVENHUIS; WAARD, 1980), ainda que diferentes fatores possam interferir na concentração dos nutrientes nas folhas (MALAVOLTA et al., 1989; BATAGLIA et al., 1996).

A análise química dos nutrientes contidos nas folhas tem sido a mais frequente para essa finalidade, uma vez que são nas folhas que ocorrem a maioria dos processos metabólicos relacionados à produção primária do vegetal (CANTARUTTI et al., 2007; MALAVOLTA et al., 1989).

Dentre os métodos disponíveis, a diagnose do estado nutricional baseada na análise química dos tecidos, destaca-se por permitir avaliar a interação entre os nutrientes, o que não ocorre na análise da fertilidade do solo, e por identificar

variações não visíveis ao olho humano, como na diagnose visual (MALAVOLTA et al., 1989; MARSCHNER, 2012).

Para o caupi, os primeiros estudos desenvolvidos no Brasil para determinarem-se os níveis de um determinado nutriente em uma situação de nutrição adequada, excesso ou escassez na planta foram iniciados por Dantas et al. (1979) e Malavolta et al. (1997) determinando-se seus teores de nível crítico.

2.6 INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE FOLIAR

Dentre os métodos mais utilizados para realizar a avaliação do estado nutricional da planta, destacam-se, dentre os métodos univariados, o método do Nível Crítico (NC) e da Faixa de Suficiência (FS); dentre os métodos bivariados, destaca-se o método do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e, considerando-se relações multivariadas, destaca-se o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) (CAMACHO et al., 2012; WADT, 2011).

O método da faixa de suficiência tem sido o mais utilizado, dado a de valores de referência na literatura e sua simplicidade. As faixas de suficiência são consideradas flexíveis para diagnose nutricional, mas quanto dos valores de referência são muito amplos, podem concorrer para diminuir a precisão do diagnóstico (BATAGLIA et al., 1996; SUMNER, 1979).

Os métodos univariados tem como desvantagem a necessidade de maior controle das condições de manejo da lavoura, que devem ser semelhantes aquelas utilizadas na obtenção dos valores de referência. Quanto esse controle não é feito, reduz-se a eficiência do diagnóstico (CANTARELLA, 2007; FAGERIA et al., 2009).

O método do nível crítico baseia-se na determinação de um teor foliar, acima do qual, o aumento da produtividade da cultura será pequeno. Normalmente, adota-se como esse valor de referência o teor do nutriente que corresponde a 90% da produtividade máxima da lavoura (WADT, 2011).

O método do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) foi proposto inicialmente por Beaufils (1973), em seringueira (*Hevea brasiliensis*). No DRIS utiliza-se relações entre nutrientes ao invés da concentração absoluta e

isolada de cada um deles para a interpretação da análise de tecidos. O sistema fundamenta-se na premissa de que as relações entre nutrientes podem influenciar na disponibilidade de um nutriente em relação aos outros (BEAUFILS, 1973).

Neste método é necessária a determinação de valores de referência próprios, conhecidas como normas DRIS. Várias combinações de relações de nutrientes, para um elemento em particular, são combinadas matematicamente para determinar o índice nutricional. O índice 0 (zero) é considerado ótimo, valores negativos indicam deficiência e positivos indicam excesso (BATAGLIA, 1989; PARENT, 2011).

De modo geral o DRIS tem sido considerado vantajoso, em relação aos métodos NC e FS, pois as taxas de acúmulo de nutrientes são avaliadas unicamente em função dos demais nutrientes. Os índices DRIS também fornecem o Índice de Balanço Nutricional (IBN), que informa sobre o estado global da nutrição da planta. Uma das principais premissas relacionadas ao método DRIS está em que a correção do nutriente mais limitante por deficiência resulta em aumento da produtividade da cultura, (REIS JUNIOR; MONNERAT, 2003; WADT et al., 1999).

Por sua vez, o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) trabalha-se com relações multivariadas com todos os nutrientes por meio do uso da média geométrica dos teores nutricionais na amostra (PARENT, 2011; WADT, 2011), ao invés de analisar os nutrientes dois a dois.

Em ambos os métodos, DRIS e CND, os padrões nutricionais podem ser obtidos pelo monitoramento de lavouras comerciais (RODRÍGUEZ; RODRÍGUEZ, 2000; PARENT, 2011).

Embora o DRIS e a CND apresentem maior complexidade para a interpretação dos teores nutricionais foliares, estes métodos se destacam por diminuir a dependência da calibração local. Isto resultaria em maior eficiência nos diagnósticos obtidos por esses métodos quando comparados aos diagnósticos obtidos pelos métodos do nível crítico ou de suficiência.

Atribui-se a menor eficiência aos métodos univariados pelo fato de que os ensaios de calibração para a definição das curvas de resposta das plantas a maior disponibilidade dos nutrientes ser dependente de condições locais, e portanto, o uso destes padrões em outras situações resulta em menor eficiência do processo de diagnose (FAGERIA et al., 2009; RODRÍGUEZ; RODRÍGUEZ, 2000).

O CND vem sendo testado na diagnose do estado nutricional em várias culturas comerciais, em diferentes regiões do Brasil, como em feijoeiro irrigado em Goiás (PARTELLI et al., 2014), laranja no Amazonas (DIAS et al., 2013a), arroz irrigado no Rio Grande do Sul (WADT et al., 2013) cafeeiros em Rondônia (WADT; DIAS, 2012), mangueiras no semiárido nordestino (POLITI et al., 2013) e eucalipto em Minas Gerais (SILVA et al., 2005).

2.7 INTERPRETAÇÃO DOS ÍNDICES NUTRICIONAIS

Existem diversos métodos para a interpretação dos índices de balanço nutricional (DRIS ou CND), dentre os quais, um dos mais utilizados no Brasil é o Método do Potencial de Resposta à Adubação (PRA) (WADT, 1996; WADT, 2005). Esse método tem sido amplamente utilizado na literatura para interpretação de índices DRIS e CND de diversas culturas. São exemplos do uso deste método os diagnósticos nutricionais DRIS em tomateiro sob cultivo protegido (SCUCUGLIA; CRESTE, 2014), índices nutricionais DRIS e CND na avaliação do estado nutricional de feijoeiro irrigado (PARTELLI et al. 2014), índices DRIS e CND em mangueira (POLITI et al., 2013), índices DRIS para avaliação do estado nutricional de laranja 'Pera' no estado do Amazonas (DIAS et al., 2013b) e índices DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café conilon (WADT; DIAS, 2012).

A utilidade de um diagnóstico depende, em última análise, da capacidade de se realizar prognósticos corretos. Neste sentido, Beverly e Hallmark (1992) propuseram uma alternativa para avaliar-se a utilidade dos métodos diagnósticos para interpretação de análise de tecido, sejam quaisquer uns dos apresentados (faixa de suficiência, nível crítico, DRIS ou CND), possibilitando a quantificação do desempenho de critérios para diagnóstico nutricional mediante sua comparação (situação de deficiência ou suficiência) com o verdadeiro estado nutricional da planta através de sua resposta à aplicação de fertilizantes.

Beverly e Hallmark (1992) determinam o verdadeiro estado nutricional da planta com base em sua resposta após aplicação de nutrientes. O diagnóstico será considerado de verdadeira deficiência (DV) se, uma planta diagnosticada como

sendo deficiente apresentar aumento da produtividade após a aplicação do nutriente avaliado. Se não houver resposta à adubação, o diagnóstico de deficiência será considerado falso (DF). Em situações de suficiência falsa (SF), haverá aumento da produtividade com a aplicação do nutriente avaliado em plantas que foram diagnosticadas como sendo suficientes; se não houver aumento da produtividade, será considerado como suficiência verdadeira (SV).

Uma baixa acurácia, sobretudo na detecção de deficiência nutricional, implica em recomendações de adubação abaixo da real necessidade das culturas ocasionando perdas de produtividade pela ausência de adubação adequada (BEVERLY; HALLMARK, 1992).

Seguindo o critério utilizado por Beverly e Hallmark (1992), Teixeira et al. (2002) estudaram o desempenho dos diagnósticos nutricionais para nitrogênio e potássio, empregando-se o NC e o DRIS em bananeira. Os autores observaram eficiência semelhante (63%) entre os dois diagnósticos para K, no entanto, o DRIS mostrou-se superior ao NC para nitrogênio, DRIS apresentou 69% e NC 48%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de análise foliar e de produtividade foram obtidos de uma rede de experimentos com adubação de P e K, para feijão caupi, em ensaios realizados pela Embrapa, nos anos de 2011 e 2012, nos estados do Amapá, Pará, Paraíba e Roraima. Esse banco de dados de monitoramento nutricional foi composto por 278 casos.

Os solos utilizados no experimento apresentavam, na camada arável (0 a 20 cm de profundidade), valores de pH em água variando de 5,5 a 6,0, teores de Ca + Mg trocáveis de 1,5 a 2,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, teor de P disponível $< 5 \text{ mg dm}^{-3}$ e de K trocável $< 20 \text{ mg dm}^{-3}$.

Os solos foram previamente corrigidos para a acidez, aplicando-se calcário para elevar a saturação por bases a 50%, exceto para solos com menos de 20% de argila onde se elevou a saturação por bases a 60%.

Todos os ensaios nos diferentes locais adotaram delineamento de blocos ao acaso, em arranjo fatorial com quatro doses de fósforo e quatro doses de potássio, com três repetições. Os tratamentos foram 0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , tendo como fonte o superfosfato triplo, e 0, 35, 70 e 105 kg ha^{-1} de K_2O , tendo como fonte o cloreto de potássio.

Cada ensaio, não excluídas as parcelas perdidas, foi composto por 48 parcelas experimentais, cada uma formada por sete linhas de 5 m no espaçamento 0,45 m, com 5 a 6 sementes viáveis m^{-1} , e área total de 15,75 m^2 . Das sete linhas da parcela experimental, as duas laterais foram consideradas como bordadura, junto com 0,5 m de cada frente e fundo da parcela experimental, de forma que cada parcela útil foi de 3,6 m^2 .

As adubações dos tratamentos foram colocadas na linha de plantio, por ocasião da instalação dos ensaios, aplicando-se todo o fósforo e até o limite de 35 kg ha^{-1} de K_2O . A dose restante de K_2O foi posta em cobertura aos 25 dias do plantio, a lanço.

As sementes, da variedade BRS Guariba, foram inoculadas com rizóbios específicos para feijão-caupi. Em todos os tratamentos foram aplicados mais 25 kg ha^{-1} de FTE BR 12 ou similar.

A amostragem foliar foi realizada em trinta folhas recém maduras por parcela, coletadas no ramo principal, no início do florescimento.

Após a coleta, as amostras foliares foram secas em estufa de circulação forçada até peso constante, a 65 °C e depois de secas, trituradas em moinho. Nas amostras foram analisados os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) por espectrofotometria de absorção atômica, potássio (K) por fotometria de chama e fósforo (P) por espectrofotometria de luz visível, após extração em solução nitroperclórica. O nitrogênio (N) total foi determinado, após digestão sulfúrica, pelo método de Kjeldahl (CARMO et al., 2000).

Após a determinação dos teores foliares, foi realizada a exclusão de valores dos teores de nutriente considerados extremos. Deste modo, foram excluídos os valores menores que o teor médio - 1,96 x desvio padrão e aqueles maiores que o teor médio + 1,96 x desvio padrão. Os demais valores foram mantidos para a obtenção das normas CND e para a determinação dos índices CND. Portanto, teores nutricionais que estiveram dentro do intervalo de valores da média +/- 47,5% da distribuição normal (95% dos dados em torno da média foram considerados validos e os demais foram ignorados em todos os procedimentos a seguir).

O conjunto de casos de parcelas experimentais com informações de produtividade, excluindo-se as informações dos teores nutricionais não validados conforme descrito acima, foram utilizados na obtenção dos padrões nutricionais pelo método da Diagnose da Composição Nutricional (normas CND).

Os casos com produtividade foram então separados em dois grupos: grupo de alta produtividade e o grupo de baixa produtividade. Foram consideradas de alta produtividade todas as parcelas com produtividade acima da produtividade média do banco de dados.

As normas CND consistiram da média e desvio padrão das relações multivariadas entre os nutrientes no grupo de casos de alta produtividade.

Para a obtenção da variável multinutriente, inicialmente, todos os teores nutricionais de macro e micronutrientes forma expressos na unidade de dag kg^{-1} .

A seguir, determinou-se para cada amostra foliar o valor R, que correspondeu ao complemento da matéria seca para 100 g, de acordo com a expressão: $R = 100 - (vN + vP + vK + vCa + vMg + vZn + vFe + vMn + vCu)$. Onde: R= complemento da

matéria seca para 100 g; $100 = 100\%$ da matéria seca; vX = teor de cada nutriente em dag kg^{-1} , onde X representa cada um dos nutrientes avaliados (N, P, K ...Zn (PARENT; DAFIR, 1992).

Feito isso, determinou-se a média geométrica (mGeo) dos teores nutricionais em cada amostra, empregando-se a fórmula: $m\text{Geo} = (vN \times vP \times vK \times vCa \times vMg \times vZn \times vFe \times vMn \times vCu \times R)^{(1/n)}$. Onde: mGeo = raiz de ordem “n” do produto dos teores nutricionais e do valor R; “n” = número de fatores utilizados no cálculo da média geométrica (PARENT; DAFIR, 1992).

Definida a média geométrica, calculou-se a relação multivariada (zX), obtida pelo logaritmo natural do quociente entre os teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu e a média geométrica da composição nutricional na amostragem foliar, segundo a expressão: $zX = \ln(vX/m\text{Geo})$, em que vX = teores de cada nutriente expressos em (dag kg^{-1}); e mGeo, à média geométrica dos nutrientes na amostra (PARENT; DAFIR, 1992).

Por fim, para cada conjunto de dados das populações de referência acima descritas, foram calculadas as médias e o desvio padrão das relações multivariadas para os nutrientes avaliados, as quais se constituíram nas normas CND.

No próximo passo foi obtido o índice CND (I_X) para cada caso contido no banco de dados utilizado. Para isto, utilizou-se a expressão: $I_X = (zX - mX) / sX$, onde: I_X = índice CND de um nutriente qualquer (X); zX = relação multivariada para esse mesmo nutriente; e mX e sX , respectivamente, a norma média e a norma desvio-padrão das relações multivariadas do nutriente X (PARENT; DAFIR, 1992).

Posteriormente, calculou-se, o índice de balanço nutricional médio (IBNm), empregando-se a expressão: $IBNm = (|I_N| + |I_P| + |I_K| + |I_{Ca}| + |I_{Mg}| + |I_{Zn}| + v|I_{Fe}| + |I_{Mn}| + |I_{Cu}|) / m$, em que IBNm = índice de balanço nutricional médio; $|I_X|$ = módulo dos índices nutricionais CND de cada nutriente, onde X representa cada um dos nutrientes avaliados (N, P, K ... Cu); m = número de nutrientes avaliados em uma dada planta ou amostra foliar (WADT, 1996).

A interpretação do estado nutricional para os nutrientes fósforo e potássio foi realizada pelo índice CND em duas classes de interpretação, de acordo com o método do Potencial de Resposta a Adubação (WADT, 2005): deficiente ou suficiente.

O nutriente foi considerado nutricionalmente suficiente, quando o índice CND de determinado nutriente, em módulo, foi menor ou igual ao valor determinado pela expressão $f \times \text{IBNm}$ ou quando o mesmo índice CND foi positivo.

Foi considerado deficiente o nutriente quando seu índice CND sendo negativo foi também, em módulo, maior que valor determinado pela expressão $f \times \text{IBNm}$.

A variável f foi introduzida neste trabalho para a interpretação dos índices CND pelo método Potencial de Resposta a Adubação, sendo adotado para f os seguintes valores: $f = 1$; $f = 0,75$; $f = 0,5$; $f = 0,25$; $f = 0,1$ e $f = 0,0$.

Os teores nutricionais de fósforo e potássio, para cada caso, foram também interpretados pelo método convencional (nível crítico – NC), com base nos teores publicados na literatura especializada, conforme tabela a seguir (Tabela 1), sendo classificados também como deficiente ou suficiente.

Tabela 1 – Critérios para interpretação do estado nutricional do feijão-caupi com base nos métodos do Nível Crítico (NC) e Teor Foliar.

Autores	P (g kg^{-1})		K (g kg^{-1})	
	Deficiente	Suficiente	Deficiente	Suficiente
Malavolta et al. (1997) ⁽¹⁾	< 1,2	$\geq 1,5$	< 30	≥ 35
Dantas et al. (1979) ⁽¹⁾	< 1,4	$\geq 1,4$	< 32	≥ 32
Benvindo (2012) ⁽²⁾	< 3,5	$\geq 3,5$	< 36,5	$\geq 36,5$

⁽¹⁾ Nível Crítico; ⁽²⁾ Teor Foliar.

Para avaliar o grau de concordância entre os diagnósticos realizados pelo método CND e nível crítico (NC) para diagnósticos de P e K, adotou-se o fator $f = 1$ para o método do Potencial de Resposta a Adubação, realizando comparações do grau de concordância CND com cada valor de referência indicados por Malavolta et al. (1997), Dantas et al. (1979) e Benvindo (2012).

Foi determinada a acurácia dos diagnósticos nutricionais para fósforo e potássio usando o método CND com a interpretação pelo método do Potencial de Resposta a Adubação combinado com os seis fatores “ f ” introduzidos neste trabalho, e para o método de nível crítico avaliou-se a acurácia apenas para os valores de referência que resultaram em maior grau de concordância com os diagnósticos obtidos com o uso do método CND.

A avaliação da acurácia consistiu em determinar se o diagnóstico nutricional obtido por determinado procedimento de interpretação do estado nutricional corresponde à resposta da planta, em termos de aumento da produtividade, quando o nutriente avaliado é adicionado (BEVERLY; HALLMARK 1992)

Feito isso, os diagnósticos nutricionais de cada situação foram confrontados com a resposta da planta à aplicação de doses de fósforo ou de potássio, comparando-se sempre uma situação com ausência do nutriente (situação controle) com outro tratamento, onde apenas houve a adição de nutriente (situação resposta), ou tratamento com dose menor de nutriente (situação controle) com tratamento com dose superior do nutriente (situação resposta).

Os diagnósticos da situação controle foram classificados pelo método de interpretação do estado nutricional (método CND ou convencional, nas suas diversas variações descritas acima).

Os diagnósticos da situação resposta foram classificados como insuficiente ou adequado. Foram considerados insuficientes quando a adição do nutriente resultou em aumento da produtividade, entre a situação resposta e a situação controle. Todos os demais casos foram classificados com adequados.

Para definir se houve aumento da produtividade, foram considerados os limites de aumento variando de 10%, 20% e 30%, entre a produtividade da situação controle para a situação resposta.

Comparando-se o diagnóstico com a resposta das lavouras, obteve-se então quatro possibilidades: deficiência verdadeira (DV), quando houve resposta ao fornecimento do nutriente e o estado nutricional do feijão caupi foi diagnosticado como deficiente; deficiência falsa (DF), quando não houve resposta ao fornecimento do nutriente e o estado nutricional do feijão caupi foi diagnosticado como deficiente; adequação verdadeira (AV), quando não houve resposta ao fornecimento do nutriente e o estado nutricional do feijão caupi foi diagnosticado como adequado; adequação falsa (AF), quando não houve resposta ao fornecimento do nutriente e o estado nutricional do feijão caupi foi diagnosticado como deficiente (Tabela 2).

Para cada método e cada uma de suas variações, foram avaliados 1431 casos de combinações de resposta à adubação fosfatada ou potássica. Essas comparações foram avaliadas por meio de três medidas de acurácia propostas por

Beverly e Hallmark (1992) para avaliar o desempenho dos diagnósticos nutricionais para fósforo e potássio: eficiência, razão para deficiência e rendimento.

Tabela 2 – Distribuição da adequação de diagnósticos nutricionais.

Diagnostico nutricional	Estado Nutricional Definido pela resposta a adubação	
	Insuficiente	Suficiente
Deficiente	DV	DF
Adequado	AF	AV

Deficiência verdadeira (DV); Deficiência falsa (DF); Adequação falsa (AF) e Adequação verdadeira (AV).

A eficiência dos diagnósticos nutricionais foi estimada pela soma dos percentuais de diagnósticos verdadeiros (%VD + %VS). A razão da deficiência foi calculada pela proporção entre diagnósticos de deficiência verdadeira e deficiência falsa (%VD/%FD).

Por fim, o rendimento foi calculado pela contribuição do diagnóstico para o aumento da produtividade, sendo considerado incrementos de rendimento as variações de produtividade resultantes dos diagnósticos de deficiência verdadeira e adequação verdadeira e decréscimos no rendimento, os diagnósticos de deficiência falsa e adequação falsa. O rendimento foi então obtido, para cada conjunto de normas, pelo resultado médio dos rendimentos individuais para os casos avaliados. (Tabela 3).

Tabela 3 – Medidas de acurácia, amplitude esperada e valores aceitáveis na avaliação do desempenho de diagnósticos nutricionais (adaptado de BEVERLY; HALLMARK, 1992).

Critério	Cálculo	Amplitude	Valores aceitáveis
Eficiência	$(\%VD) + (\%VS)$	0 a 100	> 50
$V \div F$	$(\%VD) \div (\%FD)$	0 a 100 (Indefinido com % F+=0)	> 1
$\sum d(Y)$	$[d(Y) VD] - [d(Y) VS]$ $[d(Y) FD] + [d(Y) FS]$	$-\infty$ a $+\infty$	> 0

V(D): verdadeira deficiência; V(S): verdadeira suficiência; F(D): falsa deficiência, e F(S): falsa suficiência. [d(Y)VD], [d(Y)VS], [d(Y)FS] e [d(Y)FD]: respostas à aplicação de fertilizantes associadas aos diagnósticos VD, VS, FS e FD, respectivamente.

Os valores de IBNm, índice CND para fósforo e potássio e de produtividade foram avaliados por meio de gráficos de dispersão, considerando-se como variável independente o IBNm ou o índice CND, e como variável dependente a produtividade.

Foram também avaliados por gráfico de dispersão os teores nutricionais para P e K e a produtividade.

Para o conjunto dos dados, foi também avaliada a frequência de casos de deficiência ou de suficiência pelos métodos do CND e convencional, para as subpopulações de alta produtividade, baixa produtividade e para o total de casos do banco de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De 278 parcelas experimentais selecionadas de ensaios de adubação de P e K conduzidos nos anos de 2011 e 2012 na região norte e nordeste, 157 parcelas foram classificadas como sendo de alta produtividade ($>1034 \text{ kg ha}^{-1}$) e 121 parcelas foram classificadas como sendo de baixa produtividade ($<1034 \text{ kg ha}^{-1}$).

Os teores de P e K foram superiores nas parcelas de alta produtividade, em relação aos teores observados naquelas de baixa produtividade, embora, tanto o desvio padrão como os teores máximos tenham sido de mesma magnitude nos dois grupos de produtividade (Tabela 4).

Tabela 4 – Média, desvio-padrão, valores máximos e mínimo dos teores foliares de P e K e da produtividade de grãos secos, em parcelas experimentais de caupi.

	Teor foliar g kg^{-1}		Produtividade de grãos kg ha^{-1}
	P	K	
Lavouras de Alta Produtividade			
X	2,9	32,4	1444
S	1,0	6,9	280
Max.	4,9	44,7	2115
Min.	1,1	14,6	1035
Lavouras de Baixa Produtividade			
X	2,1	29,9	486
S	0,9	7,9	317
Max.	4,6	46,2	1032
Min.	0,9	12,5	0,00

X= Média; S= Desvio-padrão; Max.= Valores máximos; Min.= Valores mínimos.

A avaliação da dispersão da produtividade das parcelas experimentais em função do Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm) e dos índices CND de P e K foram coerentes com os modelos teóricos esperados para esses tipos de dados.

Para a dispersão da produtividade em função do IBNm comportou-se como esperado, com maior ocorrência de casos de alta produtividade à medida que os valores de IBNm tornam-se menores (Figura 1).

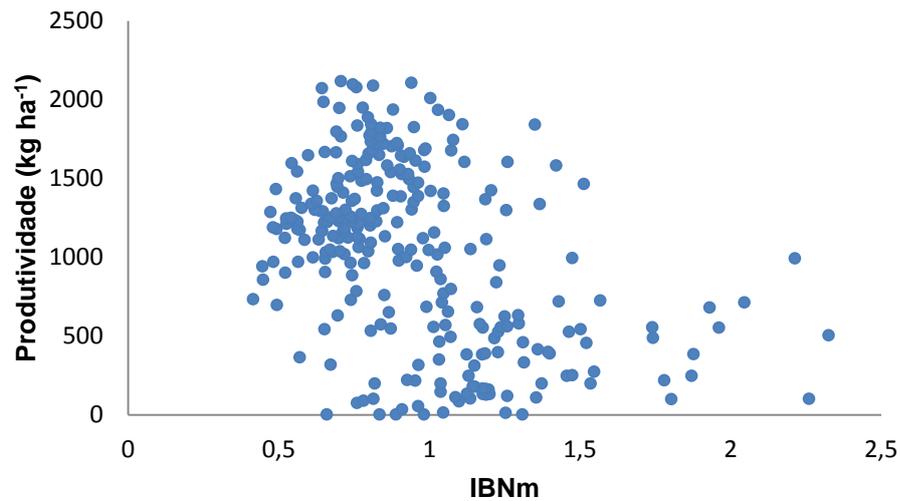


Figura 1 – Produção de caupi em relação ao IBNm.

A dispersão da produtividade em relação aos índices CND de P e K apresentou certa discrepância com o modelo teórico, mas que pode ser atribuída muito mais a natureza dos dados experimentais (ensaios de adubação com doses crescentes de nutrientes responsivos) do que propriamente a baixa qualidade dos dados, uma vez que em ambos os casos, maiores produtividades são alcançadas conforme os índices CND aumentam e se aproximam de zero, estabilizando-se ou mesmo sofrendo ligeira redução dos casos de alta produtividade (Figura 2 e 3).

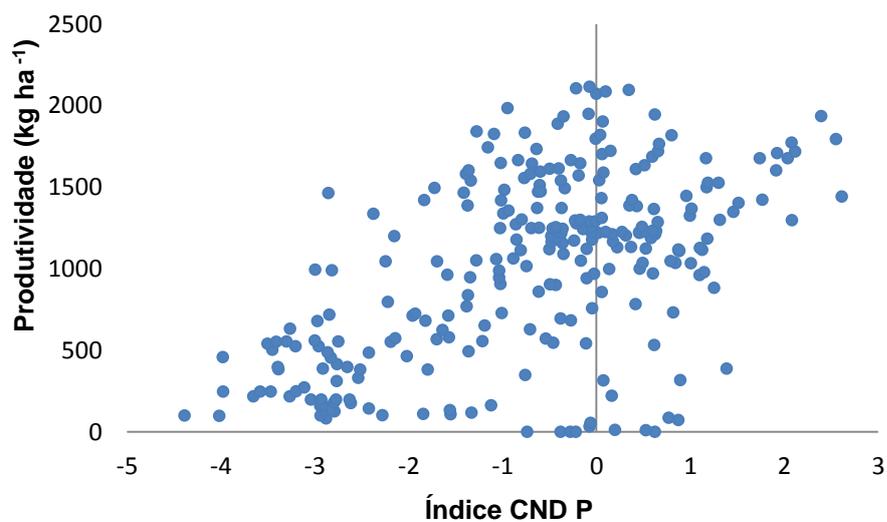


Figura 2 – Produção de caupi em relação ao índice CND para P.

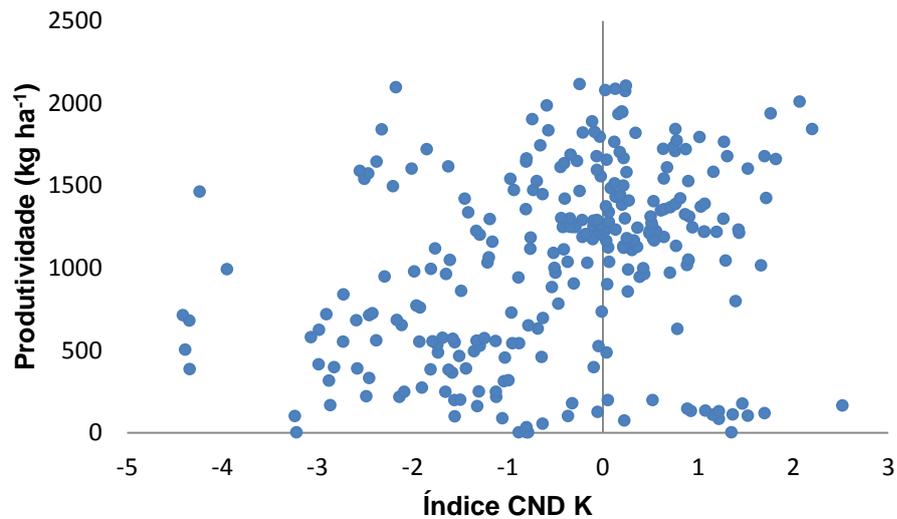


Figura 3 – Produção de caupi em relação ao índice CND para K.

Por outro lado, ao se avaliar a dispersão dos dados de produtividade em relação aos teores de P ou K, mesmo tratando-se de dados de ensaios controlados e com doses crescentes de nutrientes responsivos, não se tem uma relação clara entre o teor dos nutrientes nos tecidos foliares e produtividade, seja para P (Figura 4) e principalmente para K (Figura 5), cuja ausência de correlação foi ainda mais evidente. Segundo Wadt (2011) isto ocorre em função de que inúmeros fatores não controlados atuam simultaneamente sobre as taxas de acúmulo de nutrientes e de biomassa, resultando que para qualquer teor foliar, pode-se igualmente obter qualquer produtividade.

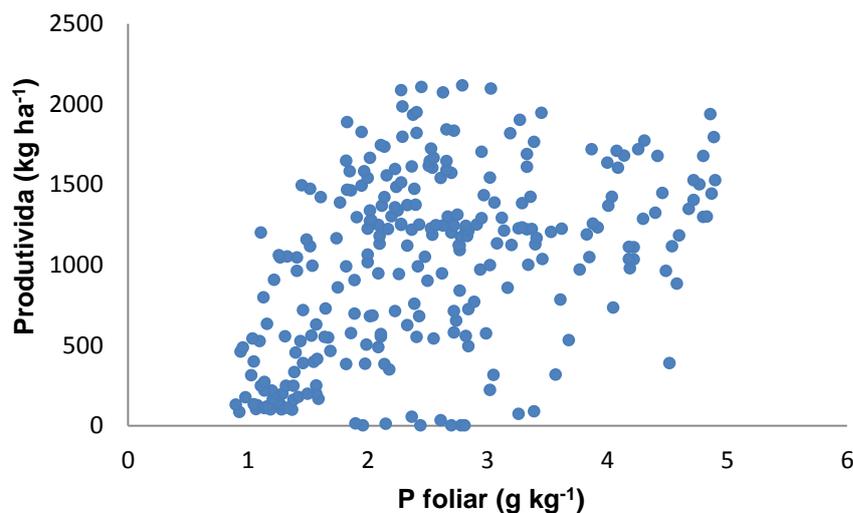


Figura 4 – Produtividade de caupi em relação ao teor foliar de P.

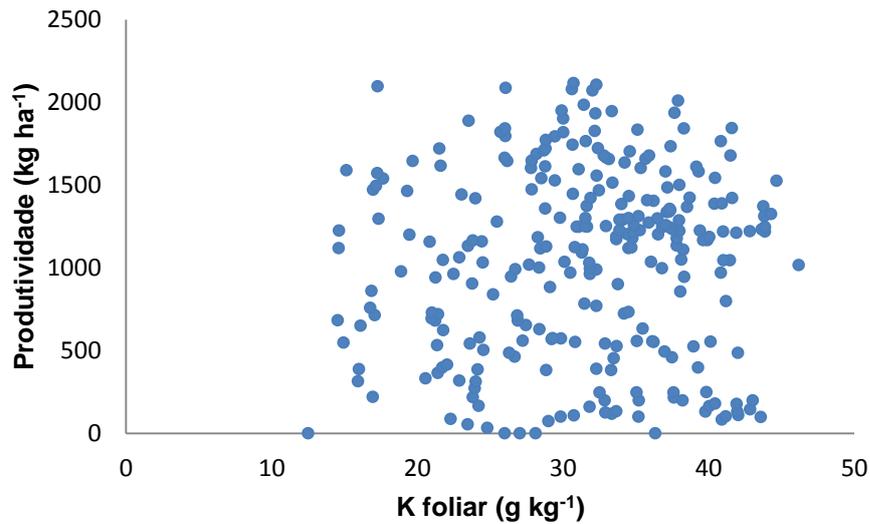


Figura 5 – Produtividade de caupi em relação ao teor foliar de K.

Os teores considerados adequados para P e K variam, de 1,2 a 3,5 g kg⁻¹ para P e de 30 a 36,5 g kg⁻¹ para K (Tabela 5), sendo os teores mais elevados aqueles descritos com maiores concentrações encontradas nos tecidos foliares de caupi (BENVINDO, 2012) e os teores mais baixos aqueles considerados limite mínimo em plantas sadias (MALAVOLTA et al., 1997; DANTAS et al., 1979).

Tabela 5 – Nível crítico para teores adequados de P e K em folhas de caupi.

Nutriente	Autores ⁽¹⁾		
	1	2	3
	-----g kg ⁻¹ -----		
P	1,2 - 1,5	1,4	3,5
K	30 - 35	32	36,5

⁽¹⁾ Nível crítico 1: Malavolta et al. (1997); 2: Dantas et al.(1979); teor foliar 3: Benvindo (2012).

Deve-se ressaltar, contudo, que esses valores de nível crítico são indicações gerais afetadas pelas condições de solo, clima e variedade (MALAVOLTA et al., 1997).

Comparando-se os diagnósticos obtidos pelo CND com o estado nutricional determinado por esses diferentes valores, observa-se que os teores sugeridos por

Malavolta et al. (1997) foram aqueles que produziram diagnósticos mais próximos daqueles obtidos pelo método CND (Tabela 6).

O grau de concordância (GC) para interpretação do estado nutricional pelo método CND foi maior para P quando se adotou como valor adequado o valor limite superior da faixa de suficiência, e para K quando se adotou o limite inferior da faixa de suficiência.

O nível crítico para avaliar o estado nutricional de P e K em caupi sugerido por Malavolta et al. (1997) apresentou maior grau de concordância (GC) com o índice CND de fósforo (72% GC) e potássio (78% GC) (Tabela 6).

Tabela 6 – Grau de concordância entre diagnósticos realizados com normas CND e Nível Crítico (NC) para feijão-caupi.

Diagnostico	P	K
	----- % -----	
CND vs. NC ⁽¹⁾	65 - 72	78 - 58
CND vs. NC ⁽²⁾	70	70
CND vs. NC ⁽³⁾	53	55

⁽¹⁾ Grau de concordância com faixa de NC de acordo com Malavolta et al. (1997); ⁽²⁾ Dantas et al. (1979); ⁽³⁾ Teor foliar de acordo com Benvindo (2012).

O baixo grau de concordância entre o diagnóstico obtido pelo CND com o nível crítico já foi constatado em outras culturas. Por exemplo, em feijoeiro comum, enquanto o GC entre os diagnósticos produzidos pelo DRIS e pelo CND normalmente são acima de 90% para P, Ca, S, B, Cu, Fe e Zn; esses são inferiores a 70% quando se compara qualquer um destes métodos com o diagnóstico produzido pela faixa de suficiência (PARTELLI et al., 2014).

A avaliação do grau de concordância tem sido utilizada largamente para discutir as vantagens e desvantagens de diferentes métodos diagnósticos. Assim, Politi et al. (2013), por exemplo, avaliaram o estado nutricional de mangueira pelo DRIS, usando diferentes tipos de normas (específicas, gerais, normais ou log-transformadas) e o método CND, obtendo na maioria das vezes grau de concordância superior a 70% em 98% dos casos estudados. De acordo com Serra et al. (2010) normas DRIS e CND desenvolvidas para algodoeiro no oeste da Bahia apresentaram grau de concordância de 73,8% para zinco a 87,7% para fósforo.

Entretanto, as conclusões obtidas por esses trabalhos são pouco relevantes, dado que esses autores não avaliam a acurácia dos diagnósticos obtidos pelos diferentes métodos, não se sabendo, portanto, se os diagnósticos correspondem ao verdadeiro estado nutricional.

A acurácia dos diagnósticos nutricionais de fósforo e potássio empregando-se o CND e NC em feijão-caupi, avaliado segundo critérios sugeridos originalmente por Beverly e Hallmark (1992) permitem uma nova abordagem sobre essa questão. A comparação de respostas reais de 1431 comparações de P e 1431 comparações de aplicação de K sugerem que o baixo grau de concordância entre os métodos diagnósticos pode representar diferentes capacidades destes em produzir diagnósticos coerentes, em relação a responder adequadamente à aplicação de fertilizantes.

Tomando-se como referência que aumentos de produtividade acima de 10% entre o tratamento controle e o tratamento adubado representam resposta adequada à aplicação do fertilizante, tem-se que, para P o desempenho do método CND foi superior ao método do NC (Tabela 7).

A eficiência do diagnóstico realizado pelo método do CND foi de 63%, portanto, maior que aquela obtida pelo método do NC, que ficou em 58%. Mesmo considerando-se que ambos os métodos apresentaram valores para a acurácia acima 50%, valor considerado como aceitável (BEVERLY; HALLMARK, 1992), a superioridade do método CND ficou demonstrada.

Avaliando-se o incremento da produtividade obtida por esses diferentes métodos, observa-se um ganho de $127,4 \text{ kg ka}^{-1}$ de grãos secos ao se corrigir a adubação fosfatada com base no método CND, enquanto que com o método do NC essa mesma decisão resulta em $-10,8 \text{ kg ha}^{-1}$ na produtividade (Tabela 7). Esse resultado obtido para o uso do método CND explica-se pelo maior percentual de diagnósticos de deficiência que se confirmaram após aplicação do fósforo.

Teixeira et al. (2002), relatam desempenho superior do DRIS em relação ao NC para diagnósticos de Nitrogênio (N) em bananeira, onde o uso do DRIS resultou em eficiência de 69% com incremento de 124 t ha^{-1} na produtividade, enquanto o método do nível crítico obteve 48% de eficiência e incremento de apenas 20 t ha^{-1} . Acrescenta-se, que neste trabalho os autores diagnosticaram como deficiência

nutricional as situações em que os índices DRIS e teores de nível crítico foram menores que zero.

Para o diagnóstico do estado nutricional para K, o desempenho do CND foi superior ao NC. A eficiência do CND (51%) foi maior que do NC (49%), acrescentando-se que para o método NC não se alcançou o mínimo aceitável de 50% de eficiência (Tabela 7).

Apesar da maior eficiência do método do CND, ainda assim, constatou-se perda de produtividade, da ordem de -40 kg ha^{-1} , inferior àquela observada para o método do NC, que foi de -47 kg ha^{-1} . Teixeira et al. (2002), avaliando a acurácia dos diagnósticos de K pelos métodos do DRIS e NC em bananeira, observaram desempenho semelhante entre os dois métodos, com eficiência de 63% e incremento de 70 t ha^{-1} .

Tabela 7 – Desempenho geral de diagnósticos nutricionais CND e NC para P e K em feijão-caupi com base em eficiência, incidência e variações no rendimento associado a diagnósticos verdadeiros e falsos admitindo-se incremento de 10% na produtividade.

Método	Nutriente	Diagnósticos ⁽¹⁾				Eficiência ⁽²⁾	V/F ⁽³⁾	$\sum d (Y)$ ⁽⁴⁾
		V-	V+	F-	F+			
		-----%				kg. ha ⁻¹		
CND ⁽⁵⁾	P	44	20	11	26	63	4,01	127,4
NC ⁽⁶⁾		31	27	3	39	58	4,12	-10,8
CND	K	23	29	25	24	51	0,91	-40
NC		25	24	29	22	49	0,72	-47

⁽¹⁾ V- = suficiência verdadeira, V+ = deficiência verdadeira, F- = deficiência falsa, F+ = suficiência falsa; ⁽²⁾ eficiência = $(\%V+) + (\%V-) / ((V+) + (V-) + (F-) + (F+))$; ⁽³⁾ somatório das variações no rendimento associadas aos diagnósticos (1500 casos); ⁽⁴⁾ razão V/F = $((V- / ((V+) + (V-) + (F-) + (F+))) / (F- / ((V+) + (V-) + (F-) + (F+))))$; ⁽⁵⁾ eficiência de índices CND; ⁽⁶⁾ Nível crítico de acordo com Malavolta et al.(1997).

A acurácia do método CND no diagnóstico nutricional de P e K também variou em relação ao local de condução dos ensaios de adubação (Tabela 8), tanto para fósforo quanto potássio.

De modo geral pode-se observar elevada eficiência (>50%) em todos os locais de estudo da adubação fosfatada, enquanto que para K, observou-se baixa eficiência (< 50%) (Tabela 8).

Chama a atenção o contraste entre alguns locais de estudo, como por exemplo, a alta eficiência para a adubação de P no ensaio da Parnaíba (79% de eficiência), em contraste com o ensaio realizado no Pará (19% de eficiência), como também as grandes variações no incremento da produtividade entre os diferentes locais de estudo.

Uma baixa eficiência, sobretudo na detecção de deficiência nutricional significa recomendações de adubação abaixo da real necessidade das culturas ocasionando perdas de produtividade (BEVERLY; HALLMARK; 1992), motivo pelo qual, diagnósticos que apresentara as maiores quantidades de acertos para casos de deficiência também resultaram em maior incremento de produtividade (Tabela 9).

Tabela 8 – Desempenho de diagnósticos nutricionais CND por região para P e K em feijão-caupi com base em eficiência, incidência e variações no rendimento associado a diagnósticos verdadeiros e falsos, determinando-se incremento de 10% na produtividade.

Nutriente	Diagnósticos ⁽¹⁾				Eficiência ⁽²⁾	V/F ⁽³⁾	$\Sigma d (Y)$ ⁽⁴⁾ kg. ha ⁻¹
	V-	V+	F-	F+			
	Brejo						
P	1,0	59	10	30	60	0,08	-86,5
k	0,0	67	0	33	67	0	-33,7
	Parnaíba						
P	79	0,0	20	1,0	79	4,08	283,7
k	35	3,0	49	13	38	0,72	-65,5
	Pará						
P	0,0	19	3,0	79	19	0,05	-665,7
K	36	19	23	22	55	1,61	115,5
	Amapá						
P	0,0	19	2,0	79	75	6,12	391,5
K	22	27	16,3	35	48	1,65	-123,6
	Roraima						
P	75	7,6	9,7	7,7	83	9,64	713,9
K	22	25	34	19	47	0,56	-90,6

⁽¹⁾ V- = suficiência verdadeira, V+ = deficiência verdadeira, F- = deficiência falsa, F+ = suficiência falsa; ⁽²⁾ eficiência = (%V+) + (%V-) / ((V+) + (V-) + (F-) + (F+)); ⁽³⁾ somatório das variações no rendimento associadas aos diagnósticos (casos); ⁽⁴⁾ razão V/F = ((V- / ((V+) + (V-) + (F-) + (F+))) / (F- / ((V+) + (V-) + (F-) + (F+)))).

Desde que foi desenvolvido o método do Potencial de Resposta a Adubação (WADT, 1996; WADT, 2005) para a interpretação do estado nutricional das plantas a partir do método DRIS e similares, nenhum estudo abordou como o efeito da amplitude do valor do IBNm na separação de plantas nutricionalmente equilibradas daquelas nutricionalmente desequilibradas.

Utiliza-se para essa separação o valor do IBNm, sem considerar que a diminuição da amplitude do valor do IBNm pode resultar em maior número de plantas consideradas desequilibradas (deficientes ou em excesso), conforme se demonstra para P e K (Figura 6).

Isto é particularmente importante, à medida que um dos principais objetivos dos métodos de diagnose do estado nutricional das plantas está em identificar os nutrientes limitantes da produtividade e assim, a detecção de maior número de diagnósticos deficientes, minimiza a chance de não realizar adubação em plantas possivelmente deficientes. Uma baixa acurácia resulta quando deficiências nutricionais não são diagnosticadas e muitas respostas de aumento de produção ocorrem com a adição do nutriente (BEVERLY; HALLMARK, 1992).

Observa-se que o ajuste no valor de IBNm proporcionou maior número de diagnósticos para deficiência a medida que se aproxima de zero (Figura 6). Tal comportamento se mostrou eficiente quando comparado com a resposta à aplicação de fertilizantes com confirmação da deficiência nutricional (Tabelas 9 e 10).

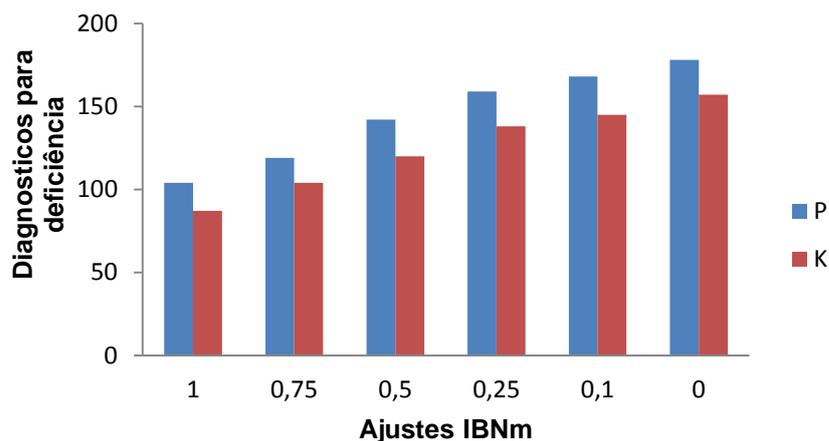


Figura 6 – Número de caso de parcelas, consideradas nutricionalmente deficientes em função da redução a amplitude do valor de IBNm.

Esse efeito da redução da amplitude do valor de IBNm para separar plantas equilibradas daqueles não equilibradas, ao aumentar o número de parcelas

consideradas deficientes em P ou K, proporcionou aumento na produtividade das parcelas (Tabela 9 e 10), verificando-se a estreita dependência entre o incremento na produtividade e a maior porcentagem de diagnósticos para deficiência nutricional.

Tabela 9 – Desempenho de diagnósticos nutricionais para P realizados pelo método CND versos (vs.) ajustes no IBNm vs. Incremento de produtividade.

IBNm ⁽¹⁾	Diagnósticos ⁽²⁾				Eficiência ⁽³⁾ -----%-----	V/F ⁽⁴⁾	$\Sigma d (Y)$ ⁽⁵⁾ kg ha ⁻¹
	V-	V+	F-	F+			
	10% ⁽⁶⁾						
IBNm vs. 0,0	58	10	20	12	67	3,05	303,8
IBNm vs. 0,1	55	11	19	15	66	3,09	264,1
IBNm vs. 0,25	54	12	18	16	66	3,24	261,9
IBNm vs. 0,5	50	14	16	20	64	3,46	198,6
IBNm vs. 0,75	47	18	12	23	65	3,49	165,2
IBNm vs. 1,0	44	20	11	26	63	4,01	127,4
	20% ⁽⁷⁾						
IBNm vs. 0,0	51	12	26	11	63	2,04	288,4
IBNm vs. 0,1	49	13	25	13	62	2,06	250,6
IBNm vs. 0,25	48	14	24	13	62	2,07	248,7
IBNm vs. 0,5	45	17	21	17	62	2,16	191,1
IBNm vs. 0,75	43	22	16	19	65	2,22	163,1
IBNm vs. 1,0	40	24	14	22	64	2,33	128,8
	30%						
IBNm vs. 0,0	47	13	31	9	60	1,47	270,2
IBNm vs. 0,1	45	15	29	11	60	1,50	237,2
IBNm vs. 0,25	45	16	28	12	60	1,50	236,9
IBNm vs. 0,50	41	19	25	15	60	1,57	182,0
IBNm vs. 0,75	40	24	20	16	63	1,62	156,2
IBNm vs. 1,0	37	27	17	19	64	1,73	129,1

⁽¹⁾ V- = suficiência verdadeira, V+ = deficiência verdadeira, F- = deficiência falsa, F+ = suficiência falsa; ⁽²⁾ eficiência; ⁽³⁾ somatório das variações no rendimento associadas aos diagnósticos; ⁽⁴⁾ razão V/F; ⁽⁵⁾ Ajustes do valor IBNm; ⁽⁶⁾ % de incremento na produtividade.

Tabela 10 – Desempenho de diagnósticos nutricionais para K realizados pelo método CND versus (vs.) ajustes no IBNm vs. incremento de produtividade.

IBNm ⁽¹⁾	Diagnósticos ⁽²⁾				Eficiência ⁽³⁾	V/F ⁽⁴⁾	$\Sigma d (Y)$ ⁽⁵⁾ kg ha ⁻¹
	V-	V+	F-	F+			
	10% ⁽⁶⁾						
IBNm vs. 0,0	33	18	36	14	50	0,91	13
IBNm vs. 0,1	32	19	34	15	51	0,88	-5
IBNm vs. 0,25	31	20	33	15	51	0,88	-4
IBNm vs. 0,5	29	24	29	18	52	0,98	0
IBNm vs. 0,75	27	27	27	19	54	1,16	8
IBNm vs. 1,0	23	29	25	24	51	0,91	-40
	20% ⁽⁷⁾						
IBNm vs. 0,0	28	21	40	10	49	0,68	10
IBNm vs. 0,1	27	23	38	11	50	0,65	-7
IBNm vs. 0,25	27	24	37	11	51	0,66	-4
IBNm vs. 0,5	25	29	33	13	54	0,71	5
IBNm vs. 0,75	24	32	30	14	56	0,90	14
IBNm vs. 1,0	20	34	27	19	54	0,69	-32
	30%						
IBNm vs. 0,0	25	23	43	8	48	0,56	3
IBNm vs. 0,1	24	25	41	9	49	0,54	-14
IBNm vs. 0,25	24	26	40	9	50	0,54	-10
IBNm vs. 0,50	23	31	35	11	53	0,60	3
IBNm vs. 0,75	22	35	32	12	56	0,76	15
IBNm vs. 1,0	17	37	30	16	54	0,58	-30

⁽¹⁾ V- = suficiência verdadeira, V+ = deficiência verdadeira, F- = deficiência falsa, F+ = suficiência falsa; ⁽²⁾ eficiência; ⁽³⁾ somatório das variações no rendimento associadas aos diagnósticos; ⁽⁴⁾ razão V/F; ⁽⁵⁾ Ajustes do valor IBNm; ⁽⁶⁾ % de incremento na produtividade.

Esses resultados apontam para o fato de que o método do Potencial de Resposta a Adubação, da forma que vem sendo amplamente adotado na literatura,

pode resultar em baixa eficiência dos diagnósticos nutricionais, levando a situação de não se recomendar ajustes na adubação de plantas deficientes. Acrescente-se a recomendação de não realizar adubações pode resultar em maiores prejuízos que o uso de adubações em lavouras nutricionalmente equilibradas, sobretudo para culturas de alto valor agregado (BEVERLY; HALLMARK, 1992).

Em todos os casos avaliados (Tabelas 9 e 10), o uso do fator $f=0$, que corresponde a considerar deficiente todos os nutrientes com índices CND negativos, foi superior a todas as demais situações testadas. É preciso considerar que os dados avaliados correspondem a ensaios de adubação P e K em solos de baixa fertilidade para esses nutrientes, o que aumenta a probabilidade de respostas positivas à adubação.

5. CONCLUSÕES

1. A avaliação dos diagnósticos nutricionais por diferentes métodos com base exclusivamente no critério do grau de concordância entre os diagnósticos pode resultar em interpretações errôneas acerca do valor agronômicos destes métodos.
2. O método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) apresentou-se superior ao método do Nível Crítico na avaliação do estado nutricional de P e K em caupi.
3. O método do Potencial de Resposta a Adubação, como vem sendo largamente utilizado na literatura, pode proporcionar baixa eficiência do método da Diagnose da Composição Nutricional (CND), diminuindo sua vantagem frente ao método do nível crítico.

REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S de.; SANTOS, A. A. dos.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B. de.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S. da.; ROCHA, M. M. de.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da.; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Embrapa Meio Norte. Sistemas de produção: 2, Teresinha, 108 p. 2002.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M. de.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 253-258, abr./jun. 2010.

ANDREW, C. S.; JONES, R. K. The phosphorus nutrition of tropical forage legumes. In: ANDREW, C. S., KAMPRATH, E. J. (Eds.). Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne : CSIRO Publishing, 1978. p. 295-311.

BARROS, N. V. A dos.; LEAL, M. J. B.; ARAUJO, M. A. M. da.; ARAUJO, R. S. R. M dos. Composição química de cultivares biofortificadas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2013. 1 CD-ROM.

BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W. R. Princípios da diagnose foliar. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS, 1996. p. 647-660.

BATAGLIA, O. C. DRIS-Citros-Uma alternativa para avaliar a nutrição das plantas. **Laranja**, Cordeirópolis, v.10, n.2, p.565-576, 1989.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Bloemfontein: University of Natal, 1973. 132 p.

BENVINDO, R. N. **Adubação fosfatada e potássica na nutrição e na produtividade de feijão-caupi, cultivado no município de bom Jesus-pi.** 2012. 61 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO, Jaboticabal, SP, 2012.

BEVERLY, R. B.; HALLMARK, W.B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, p.2633-2640, 1992.

CAMACHO, M. A.; SILVEIRA, M. V. da; CAMARGO, R. A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranjeira-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, p.193-200, 2012.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; PIETRO, H. E.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H. ; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 769-850.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. P. 375-470.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C. ; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. p.41. (Circular técnica, 6)

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. F. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 81-88, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acomp. Safra Bras. Grãos**. 6. Brasília, DF: CONAB, 2015.

COUTINHO, P. W. R.; SILVA, D. M. S. da.; SALDANHA, E. C.; OKUMURA, R. S.; SILVA JUNIOR, M. L. da. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do Estado do Pará. **Revista Agroambiente**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 66-73, Jan./abr. 2014.

CRAVO, M. S; SOUZA, B. D. L. Feijão caupi. In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS. I. J. M.; BRASIL, E. C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p.147-149.

DANTAS, J. P.; BERGAMIN FILHO, H.; MALAVOLTA, E. Estudo sobre nutrição mineral do feijão macassar (*Vigna sinenses* (L.) ENDL.) II Exigência de macro e micronutrientes. **Anais...** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1979. p. 425-433.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H. ; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 91-132.

DIAS, J. R. M.; TUCI, C. A. F.; WADT, P. G. S.; PARTELLI, F. L.; PEREZ, D. V.; ESPINDULA, M. C.; TOMIO, D. B. Antecipação do período de diagnose foliar em laranjeira ‘pera’ no Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.7, p.757-764, jul. 2013a.

DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; SILVA, S. V. da. Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranjeira 'pera' no estado do Amazonas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 251-259, abr./jun. 2013b.

EVENHUIS, B.; WAARD, P. W. F. **Principles and practices in plant analysis**. In: FAO. Soils. Rome, 1980. p. 152-163. (FAO Bulletin, 38/1).

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M.P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C. M. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.32, p.1044-1064, 2009.

FERNANDES, A. R.; FONSECA, M. R.; BRAZ, A. M. S. de.; Produtividade de feijão caupi em função da calagem e fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 4, p. 54-62, out./dez. 2013.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R. da.; BRASIL, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.53, n.2, p.195-205, jul./dez. 2010.

FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-caupi: Avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; 2005. 519 p.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1998. p. 26-46.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Embrapa Meio Norte, Teresina, 84 p. 2011.

GALVAO, J. R.; FERNANDES, A. R.; MELO, N. C.; SILVA, V. F.; ALBURQUERQUE, M. P. F. de. Sistema de manejo e efeito residual do potássio na produtividade e nutrição do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 2, p. 41-49, abr./jun. 2013.

GUALTER, R. M. R.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; ALCANTARA, R. M. C. M.; COSTA, D. B. Inoculação e adubação mineral em feijão-caupi: efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.4, p.469-474, 2008.

GUARESCHI, R. F.; ARAUJO, M. J. C. da.; GAZOLLA, P. R.; ROCHA, A. C. da. Produtividade de feijão azuki em função de doses de potássio em cobertura. **Gi. Sci. Technol.**, Rio Verde, v. 2, n. 2, p. 67-72, maio/ago. 2009.

GUEDES, R. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D. Consórcio de caupi e milho em cultivo orgânico para produção de grãos e espigas verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 174-177, abr./jun. 2010.

GRANT, C. A; FLATEN, D. N; TOMASIEWICZ, D.J; SHEPPARD, S.C. **A Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: Potafos, n.95, 2001.

MAFRA, R. C. **Contribuição ao estudo do “feijão massacar”:** fisiologia, ecologia e tecnologia de produção. In: Curso de treinamento para pesquisadores de feijão-caupi, 1, 1979, Goiânia. Assuntos abordados. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP/IITA, 1979. p. 01-39.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. p. 319.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Elsevier, 2012.

MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; SALVIANO, A. A. C. Fertilidade do solo e adubação. In: _____. **Feijão-Caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Meio-norte, 2005. p. 228-242.

OLIVEIRA, A. P. de.; SILVA, J. A. da.; LOPES, E. B.; SILVA, E. E.; ARAUJO, L. H. A.; RIBEIRO, V. V. Rendimento produtivo e econômico do feijão-caupi em função de doses de potássio. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 629-634, mar./abr. 2009.

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmidos de semi-árido do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. org. **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA/EMBRAPA. p. 63-96, 1988.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 2, p. 239-242, 1992.

PARENT, L.E. Diagnosis of the nutrient compositional space fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 321-334, mar. 2011.

PARRY, M. M.; KATO, M. do S.A.; CARVALHO, J. G. de. Macronutrientes em caupi cultivado sob duas doses de fosforo em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.236-242. 2008.

PARTELLI, F. L.; DIAS, J. F. M.; VIEIRA, H. D.; WADT, P. G. S.; JUNIOR, E. P. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos cnd, dris e faixas de suficiência. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 858-866, jan. 2014.

POLITI, L. S.; FLORES, R. A.; SILVA, J. A. S. da; WADT, P. G. S.; PINTO, P. A. da C.; PRADO, R. de M. Estado nutricional de mangueiras determinado pelos métodos DRIS e CND. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, p.11-18, 2013.

REIS JUNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. Norms establishment of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for nutritional diagnosis of sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38. n. 4, p. 277-282, jul. 2003.

ROCHA, M. M. O feijão-caupi para consumo na forma de feijão fresco. **Agrosoft**, 2009. Disponível em: www.agrosoft.org.br/agropag/212374.htm. Acesso em: 10/12/2012.

RODRIGUES, J. E. L., BOTELHO, S. M.; TEIXEIRA, R. N.; RODRIGUES, E. F.; BASTOS, F. A. Doses de p e k para feijão caupi em solo ácido, de baixa fertilidade do estado do Pará. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2013. 1 CD-ROM.

RODRÍGUEZ, O.; RODRÍGUEZ, V. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. **R. Fac. Agron. LUZ**, 17: p. 449-470, 2000.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações agronômicas**, v.68, p.1-16, 1994. (Encarte especial).

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2. 2009, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 56-72.

SCUCUGLIA, C. L.; CRESTE, J. E. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) of tomato in greenhouse. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 200-204, abr/jun. 2014.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Desenvolvimento de normas Dris e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, p.97-104, 2010.

SILVA, A. J. da.; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. A.; LIMA, A. C. S.; SANTOS, C. S. V. dos.; OLIVEIRA, J. M. F. de.; MELO, V. F. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em latossolo amarelo do estado de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 31-36, jan. 2010.

SILVA, E. F. da.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. da.; SANTANA, F. M. S. de.; SANTOS, M. G. dos. Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em serra talhada-PE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 21-26, jan./mar. 2013.

SILVA, F. L. B. da.; LACERDA, C. F. de.; NEVES, A. L.; SOUSA, G. G. de.; SOUSA, C. H. C. de.; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 18, n. 2, p. 304-317, abr./jun. 2013.

SILVA, G.G.C. da; NEVES, J.C.L.; ALVAREZ V., V.H.; LEITE, F.P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.755-761, 2005.

SOUZA, P. M.; MOREIRA, F. M. S. de. Potencial econômico de inoculação de rizóbios em feijão-caupi na agricultura familiar: um estudo de caso. **Em extensão**, Uberlândia, MG, v. 10, n. 2, p. 37-54, jul./dez. 2011.

SUMNER, M. E. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. **Agron. J.** v. 71, p. 343-348, 1979.

TEIXEIRA, L. A. J.; SANTOS, W. R. dos S.; BATAGLIA, O. C. Diagnose nutricional para nitrogênio e potássio em bananeira por meio do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e de níveis críticos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 530-535, 2002.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, jul./set. 2009.

VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R.; EL-HUSNY, J. C.; SILVA, A. R. B. e.; MARTINEZ, G. B. Resposta do feijão-caupi à adubação fosfatada e potássica em latossolo amarelo do nordeste paraense. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3. 2013, Recife, PE. **Resumos...** Recife: Congresso Nacional de feijão-caupi, 2013.

WADT, P. G. S.; ANGHINONI, I.; GUINDANI, R. H. P.; LIMA, A. S. T. de; PUGA, A. P.; SILVA, G. S. da; PRADO, R. de M. Padrões nutricionais para lavouras arrozeiras irrigadas por inundação pelos métodos da CND e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.37, p.145-156, 2013.

WADT, P. G. S.; DIAS, J. R. M. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p.822-830, 2012.

WADT, P. G. S. **Diagnose Foliar e Recomendação de Adubação para Lavouras Comerciais**. Rio Branco: Embrapa, 2011 (Documento Técnico, 120).

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

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BRAGANÇA, S. M. Alternativas de aplicação do DRIS à cultura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p.83-92, jan./mar. 1999.

WADT, P. G. S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto**. 1996. 123 f. Tese (Doutorado em Fertilidade do Solo) – Departamento de solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.