



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
MESTRADO EM AGROECOLOGIA**

ASSISTONE COSTA DE JESUS

**EFEITOS DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO NA CULTURA DO
FEIJÃO CAUPI INOCULADA COM *Bradyrhizobium* NA EFICIÊNCIA DO USO
DO NITROGÊNIO.**

**São Luís - MA
2018**

ASSISTONE COSTA DE JESUS
Engenheiro Agrônomo

**EFEITOS DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO NA CULTURA DO
FEIJÃO CAUPI INOCULADA COM *Bradyrhizobium* NA EFICIÊNCIA DO USO
DO NITROGÊNIO.**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia
da Universidade Estadual do
Maranhão para obtenção do título de
Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

**São Luís – MA
2018**

Jesus, Assistone Costa de

Efeitos da forma de aplicação do fósforo na cultura do feijão caupi inoculada com *Bradyrhizobium* na eficiência do uso do nitrogênio/ Assistone Costa de Jesus. – 2018.

62 f.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, 2018.

1. Agroecologia. 2. Manejo e adubação. 3 Feijão caupi. I. Título.

CDU 631.8

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**

ASSISTONE COSTA DE JESUS

**EFEITOS DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO NA CULTURA DO
FEIJÃO CAUPI INOCULADA COM *Bradyrhizobium* NA EFICIÊNCIA DO USO
DO NITROGÊNIO.**

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Heder Braun (Orientador)

Prof.^a Dra. Antônia Alice Costa Rodrigues (Membro)

Prof.^a Dra. Ana Maria Silva de Araújo (Membro)

**São Luís - MA
2018**

DEDICO!

A Deus primeiramente.

Aos meus pais Maria Socorro da Costa e Assis Moreira Jesus por todo amor, carinho, atenção e ensinamentos transmitidos até os dias de hoje e ao meu segundo pai Antônio de Souza.

Aos meus irmãos pelo incentivo.

Aos meus amigos pelo incentivo, e todo percurso que percorremos juntos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha jornada neste mundo de desafios, onde nele tive minhas vitórias e Ele se fez majestoso em minha vida. A cada manhã renovando minha fé, força, esperança e sendo o meu socorro mais presente na angústia. Para sempre sejas louvado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos e a FAPEMA pelo apoio financeiro para a execução do projeto.

À Universidade Estadual do Maranhão, pela oportunidade da realização do curso.

À minha família, por acreditar e investir em mim, principalmente minha mãe, Maria Socorro da Costa por seu imenso carinho, bondade, afeto, ternura, amor, por sempre me incentivar e motivar a seguir em frente. Aos meus dois pais queridos Assis Moreira Jesus que sempre me apoiou e incentivou dando força, ajudando sempre, pela dedicação, e ao meu segundo pai Antônio Sineton de Souza que sempre acompanhou de perto essa trajetória aconselhando e dando força para continuar primando sempre pela minha educação, meu muito obrigado, amo vocês. Aos meus tios queridos Maria de Jesus Ribeiro Martins e Laurenço Rabelo Soares, que sempre me ajudaram em tudo que puderam. Aos meus queridos irmãos Maria Delma da Costa Mariano, Maria Velma Costa Mariano, José Raimundo da Costa Mariano e Antônio Elder da Costa Mariano por sempre me ajudarem nos momentos difíceis e até mesmo trabalhos científicos da universidade.

Ao meu grande amigo e orientador Dr. Heder Braun, serei eternamente grato por tudo, pela paciência, pelos ensinamentos, pela preocupação, pela atenção especial e acolhimento nesse percurso que foi o mestrado e principalmente pela confiança depositada em mim, obrigado por me aturar nesses 07 anos.

A todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, em especial a Cristina Silva Carvalho professora visitante, pela grande amizade que se estabeleceu, pelo apoio, pelo incentivo, pelos momentos de descontração e total disponibilidade que foram notáveis, e principalmente pelo estímulo, mesmo quando o cansaço parecia me abater (ela sabe), serei eternamente grato!

À minha equipe de curso, “T.R.A.G.I.” Tácila Rayene dos Santos Marinho, Raudielle Ferreira dos Santos, Givago Lopes Alves e por todo o percurso que caminhamos, pelas noites em claro estudando junto com vocês para as provas, trabalhos,

relatórios, seminários, etc. Se hoje cheguei até aqui, foi com um pouquinho de ajuda de cada um de vocês, que nossa amizade continue a crescer, sempre unidos. Italo Ramon Januário meu grande amigo que mesmo longe na UFAL, sempre estivemos torcendo um pelo outro e incentivando sempre a buscar o melhor.

À equipe EUN (eficiência do uso do nitrogênio), Danilo Sodré, Elys Regina Carvalho, Karen Alessandra Castro, Lincon Mateus Araújo, Marcelo Viana, Erivaldo Plínio, Werlen Barbosa, Ester Barbosa, Francisneide Loureço. A Lia Gracy chefe do laboratório de nutrição de plantas pela disposição sempre. Meu muito obrigado a Neto e João pelo auxílio e disponibilidade dos trabalhos durante a condução do experimento em campo.

À Virley Gardeny Lima Sena, pelo apoio e por sempre se dispor em me ajudar quando faltava um material (me salvou muitas vezes).

À Rayanne Cristine, secretária do Programa de Pós-Graduação, por sua prontidão em servir e ajudar, sem medir esforços, meu muito obrigado.

A todos os colegas do mestrado em especial Vanessa Lira, Girlayne Veloso, Thiago Oliveira, Wendell Dias, Tainã Pereira, Lizandra Pimenta por todos os momentos alegres e difíceis que passamos, mas ainda assim não desistimos.

À Thamia Carvalho Aranha e Giselle Santos de Freitas, pela força, incentivo e pelos momentos de descontração.

À Lainna Letícia Souza Ribeiro, pela força, incentivo é uma pessoa muito especial que vou carregar para sempre no meu coração, nossa ligação é única!

E todas as pessoas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, deixo o meu sincero reconhecimento.

Muito obrigado a todos!

Por isso não temas, porque estou contigo; não te assustes, porque sou o teu Deus; Eu te fortaleço, ajudo e sustento com a mão direita da minha justiça.

Isaías 41:10

Sumário

RESUMO	12
INTRODUÇÃO	15
REVISÃO DE LITERATURA	18
Considerações gerais sobre o feijão-caupi.....	18
Aspectos culturais e produtivos do feijão caupi	18
Importância Econômica do feijão caupi.....	20
Adubação Nitrogenada	22
Adubação Fosfatada.....	23
Fixação Biológica de Nitrogênio.....	25
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO II.....	35
FORMAS DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO ASSOCIADO A BACTÉRIAS <i>Bradyrhizobium</i> AUMENTAM A PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGENIO EM FEIJÃO CAUPI.....	36
INTRODUÇÃO	37
MATERIAL E MÉTODOS.....	39
Localização da área experimental	39
Componentes da eficiência do N	42
Análises estatísticas	42
RESULTADOS.....	43
DISCUSSÃO.....	45
CONCLUSÃO	49
AGRADECIMENTOS.....	49
REFERENCIAS	49
ANEXO	57

Lista de Ilustrações

- Figura 1.** Dados meteorológicos referentes a umidade relativa, precipitação pluvial e temperatura média em São Luís-MA no período de maio a agosto de 2017. .. 54
- Figura 2.** Produtividade de grãos em função de doses de N, na cultura do feijão caupi, em nas formas de aplicação parcelada no sulco (PS) e sulco de plantio (SP), São Luís – MA 2017. 55
- Figura 3.** Conteúdo de N no grão em função de doses de N, na cultura do feijão caupi, na forma parcelada no sulco (PS) e no sulco de plantio (SP) São Luís – MA 2017 55
- Figura 4.** Remobilização de N em função de doses de N, na cultura do feijão caupi na forma de aplicação no sulco de plantio, São Luís – MA 2017..... 56

Lista de Tabelas

- Tabela 1.** Valores médios das variáveis avaliadas Spad, produtividade de grãos (PG), teor de N nos grãos (TNg), conteúdo de N no grão (CNg), proteína bruta (PB), índice de colheita de N (ICN), índice de colheita de grão (ICg), Remobilização de N (RN), eficiência do uso do N (EUN) afetadas pelas formas de aplicação de P_2O_5 e a comparação entre os dois tratamentos adicionais, o controle (sem fertilização e bactéria) e so inoculante de *Bradyrhizobium* nas sementes (IBS). 53
- Tabela 2.** Equações ajustadas para o índice Spad, proteína bruta (PB, %), teor de N nos grãos (TNG, $g\ kg^{-1}$), índice de colheita do N (ICN), eficiência do uso do nitrogênio (EUN, $kg\ kg^{-1}$) e eficiência de remobilização do nitrogênio (ERN, %) em função das doses de nitrogênio, São Luís 2017. 54

RESUMO

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) geralmente são os dois nutrientes que ocorrem em menores teores no solo em relação à necessidade da planta e são os mais exigidos pelas culturas. Além disso a Fixação Biológica de Nitrogênio é reconhecidamente eficiente em feijão-caupi que, quando bem nodulado, pode atingir altos níveis de produtividade. Objetivou-se verificar se a forma de aplicação do fósforo aumenta a eficiência do uso do nitrogênio e a produtividade de grãos do feijão caupi inoculado com *Bradyrhizobium* em diferente disponibilidade de nitrogênio. O experimento foi realizado em esquema fatorial [(3x4) +2], com três formas de aplicação de P (lanço, sulco de plantio-SP e parcelado no sulco de plantio-PS) combinadas a quatro doses de N (0, 20, 60 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura, mais dois tratamentos adicionais, só inoculante na semente e o controle (sem fertilização). Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 4 m, espaçadas de 0,80 m. Foram distribuídas 10 sementes por metro de sulco. A cultivar de feijão caupi utilizada foi a BRS Guariba, e as sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* sp. Aos 30 dias após a emergência, no estágio V4 (com a quarta folha completamente desenvolvida), foi realizada a adubação de cobertura. As variáveis avaliadas foram: Índice spad, produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), teor de N nos grãos (TNg, g kg⁻¹), conteúdo de N no grão (CNg, kg ha⁻¹), proteína bruta (PB), índice de colheita de N (ICN), índice de colheita de grão (ICg), Remobilização de N (RN, kg ha⁻¹), eficiência de remobilização de N (ERN, %) e eficiência do uso do N (EUN, kg kg⁻¹). As doses de N influenciam positivamente a produtividade de grãos onde o fósforo foi distribuído no sulco de plantio e parcelado no sulco. A dose de 67,0 kg ha⁻¹ de N aplicada em cobertura proporciona a PG máxima de 955,27 kg ha⁻¹, associada com a aplicação do fósforo parcelada no sulco. As doses de N não influenciam a PG quando o fósforo foi aplicado a lanço. As formas de aplicação de fósforo localizadas proporcionam maiores PG para a cultura. As sementes inoculadas apenas com *Bradyrhizobium* sp. proporcionam incremento de 24,6% na produtividade de grãos em relação ao tratamento sem fertilização e bactérias. As doses de N influenciam de forma quadrática crescente o teor de N nos grãos (TNg) e a proteína bruta (PB) nos grãos, e linear crescente o índice Spad; o tratamento de aplicação de fósforo a lanço proporciona menor TNg, PB e índice Spad. As doses de N aplicadas em cobertura e as formas de aplicação de fósforo não influenciam a EUN, a ERN, o ICg e o ICN. Essas variáveis são influenciadas quando é utilizado só inoculantes com *Bradyrhizobium* sp. nas sementes em relação ao tratamento sem fertilização e bactérias.

Palavras-chave: Fixação biológica de nitrogênio, inoculação, manejo de adubação produtividade, *Vigna unguiculata*.

ABSTRACT

Nitrogen (N) and phosphorus (P) are usually the two nutrients that occur in lower levels in the soil in relation to the need of the plant and are the most demanded by the crops. In addition, the Biological Fixation of Nitrogen is recognized as efficient in cowpea which, when well nodulated, can reach high levels of productivity. The objective of this study was to verify if the application of phosphorus increases the efficiency of nitrogen use and grain yield of cowpea inoculated with *Bradyrhizobium* in different nitrogen availability. The experiment was carried out in a factorial scheme (3x4) +2], with three forms of application of P (haul, planting groove-SP and split in the planting groove-PS) combined with four doses of N (0, 20, 60 and 120 kg ha⁻¹) applied in cover, plus two additional treatments, inoculant only in the seed and control (without fertilization). A randomized block design with four replications was used. The experimental plot consisted of four rows of 4 m, spaced 0.80 m. 10 seeds per meter of furrow were distributed. The cowpea cultivar used was BRS Guariba, and the seeds were inoculated with *Bradyrhizobium* sp. At 30 days after emergence, at the V4 stage (with the fourth leaf completely developed), the cover fertilization was performed. The variables evaluated were: Spad index, grain yield (PG, kg ha⁻¹), N content in grains (TNg, g kg⁻¹), N content in grain (CNg, kg ha⁻¹), crude protein (RN, kg ha⁻¹), N remobilization efficiency (RN,%), and efficiency of the use of N (EUN, kg kg⁻¹). The N rates positively influence grain yield where the phosphorus was distributed in the planting groove and plotted in the groove. The dose of 67.0 kg ha⁻¹ of N applied in cover provides the maximum PG of 955.27 kg ha⁻¹, associated with the application of the phosphorus parceled in the groove. N doses do not influence PG when phosphorus was applied to the heap. Localized phosphorus application forms provide higher PG for the crop. Seeds inoculated with *Bradyrhizobium* sp. provide a 24.6% increase in grain yield in relation to treatment without fertilization and bacteria. The doses of N influence in a quadratic way increasing the content of N in the grains (TNg) and the crude protein (PB) in the grains, and increasing linear the Spad index; the treatment of application of phosphorus to the haul provides lower TNg, PB and Spad index. The doses of N applied in cover and the forms of application of phosphorus do not influence the EUN, the RN, the ICg and the ICN. These variables are influenced when only inoculants with *Bradyrhizobium* sp. in the seeds in relation to the treatment without fertilization and bacteria.

Keywords: Biological fixation of nitrogen, inoculation, management of fertilization productivity, *Vigna unguiculata*.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma espécie de ampla distribuição mundial, principalmente nas regiões tropicais, em virtude de estas apresentarem condições edafoclimáticas semelhantes às do seu provável berço de origem: a África (BRITO et al. 2009). O feijão caupi é uma cultura de grande importância socioeconômica, principalmente para as regiões Norte e Nordeste do Brasil, onde constitui um dos componentes básicos da dieta alimentar das famílias de baixa renda (TEÓFILO et al., 2008). Estimativas da CONAB (2017) apontam para a safra de 2016-2017, produção de 734,7 mil toneladas de grãos, com produtividade de 526 kg ha⁻¹. No Nordeste brasileiro registram-se os menores rendimentos do feijão, cerca de 367 kg ha⁻¹. No estado do Maranhão, as médias das regiões variam entre 417 e 531 kg ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ e FEIJÃO, 2016).

O feijão caupi ainda não se estabilizou como uma cultura agrícola de importância econômica no Brasil, devido principalmente não alcançar produtividades compatíveis como as demais culturas produtoras de grãos. Especificamente na agricultura itinerante praticada no estado do Maranhão, a principal razão para isso é que os agricultores maranhenses não têm acesso às tecnologias disponíveis para essa cultura, seja por não estarem disponíveis ou por não serem difundidas aos agricultores.

Melhoria na eficiência de utilização do N pode ser conseguida pela redução da perda de N e pela sincronização da demanda da planta por N com o suprimento de N (ZEBARTH et al., 2009). Isso pode ser conseguido aplicando-se uma parte do adubo nitrogenado no plantio e o restante do N em cobertura. Bons resultados com essa técnica foram observados nas culturas da batata (ZEBARTH et al., 2009), do milho (ARGENTA et al., 2001), do feijão comum (CALONEGO et al., 2010), do feijão caupi (XAVIER et al., 2008).

Para as plantas leguminosas, as fertilizações nitrogenadas deveriam fornecer o N em quantidade suficiente para suprir a diferença entre a necessidade da planta e a quantidade de N fornecida pelo solo e pela FBN, porém, a predição das quantidades de N que o solo e a FBN podem fornecer à cultura é de difícil estimação (ARAÚJO et al., 2009). Nesse sentido, estudos têm sido realizados com o objetivo de reduzir o fornecimento de N às plantas e aumentar a eficiência do uso do N (EUN) bem como a produtividade de grãos pela cultura.

As bactérias pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium* apresentam crescimento lento, tempo de geração de 7 a 13 horas e alcalinização do meio do cultivo levedura – manitol, contendo azul de bromotimol como indicador de pH. Bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas em leguminosas (rizóbio) são microrganismos presentes e, geralmente, abundantes em solos de muitos ecossistemas. Os rizóbios apresentam elevada diversidade e ampla variabilidade quanto à eficiência simbiótica (Soares et al., 2006).

Como simbioses intracelulares, as bactérias fixam o N_2 atmosférico utilizando o Mo como proteína da nitrogenase e fornece este N fixado para a planta, assumindo uma importância agrícola e ecológica como fonte disponível de N fixado para o crescimento das plantas (STACEY, 2006).

Na planta, o P é um nutriente essencial requerido por vários processos metabólicos (WHITE; HAMMOND, 2008) e está ligado diretamente com o crescimento e desenvolvimento das plantas (VITOUSEK et al., 2010; HARPOLE et al., 2011). Deficiência de P no solo pode levar a diminuição no consumo e na produção de ATP e NADPH, menor carboxilação/regeneração da Rubisco (SHUBHRA et al., 2004), decréscimo na expressão de genes relacionados à fotossíntese (LAWLOR; CORNIC, 2002), fechamento estomático (FLÜGGE et al., 2003), menor condutância do mesófilo (LAWLOR; CORNIC, 2002) e, conseqüentemente, comprometimento da atividade fotossintética e no metabolismo do N (LIU et al., 2015).

Nos solos tropicais, a baixa disponibilidade de P é devido ao fenômeno de fixação do P em reações com componentes do solo (RAIJ, 1991). Solos que possuem maior capacidade de fixação de P (elevado fator capacidade de P), caso daqueles mais argilosos, apresentam menor disponibilidade do P proveniente do fertilizante, isto é, necessitam de maiores quantidades de fertilizantes fosfatados para se obter determinada concentração de P na solução do solo (NOVAIS, SMYTH, 1999). Por outro lado, os solos arenosos, pobres em P, possuem baixa capacidade de adsorção de P (RHEINHEIMER et al., 2003).

A aplicação localizada tem por finalidade reduzir a superfície de contato entre as partículas do solo e o fertilizante fosfatado (BÜLL et al., 2004). Porém, quando o P é aplicado de forma localizada no sulco, rapidamente ocorre a formação de P não-lábil, a partir do P lábil (NOVAIS, SMYTH, 1999). Então, para evitar a fixação do P e reduzir o tempo de contato do P com as partículas do solo, o parcelamento da adubação fosfatada torna-se uma alternativa para aumentar a produtividade da cultura do feijão caupi bem como a EUN. Dada a importância para o adequado manejo destes nutrientes N e P,

estratégias para proporcionar aumento na EUN e a produtividade da cultura do feijão caupi ainda constitui um desafio por parte dos pesquisadores.

Diante desse cenário a importância dos nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, baixa produtividade da cultura, solos pobres de origem, se faz necessário disponibilizar alternativas menos onerosas para os agricultores maranhenses, especialmente para os de baixa renda. Solução para esses problemas exigirá aumentos significativos na eficiência de N associado à melhor forma de aplicação do P. Ainda não foram realizados experimentos para se estudar as possíveis formas de aplicação do P para aumentar a EUN e a produtividade de grãos da cultura do feijão caupi cultivado no Maranhão. Portanto, nossa hipótese é que o parcelamento da aplicação do P pode promover aumento na EUN da cultura do feijão caupi inoculada com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* em solos de baixa fertilidade da região do trópico úmido maranhense. Diante disso, nosso objetivo é verificar o efeito da forma de aplicação do fósforo a eficiência do uso do nitrogênio e a produtividade de grãos da cultura do feijão caupi inoculada com *Bradyrhizobium* em diferente disponibilidade de nitrogênio.

REVISÃO DE LITERATURA

Considerações gerais sobre o feijão-caupi

Possivelmente, em razão da grande variabilidade genética existente na própria espécie (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e nas espécies silvestres geneticamente mais próximas, houve uma grande dificuldade para a classificação da espécie domesticada. Desse modo, o feijão-caupi inicialmente foi classificado nos gêneros *Phaseolus* e *Dolichos* e, em seguida, classificado no gênero *Vigna*, o qual foi estabelecido por Savi em 1894 (PHILLIPS, 1951, citado por SELLSCHOP, 1962). Também houve muitas classificações da espécie, até que se chegasse à atual. Desse modo, a classificação cientificamente aceita é que o feijão-caupi é uma planta Dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção Catyang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflorae* *Textilis* (MARÉCHAL; MASCHERPA; STAINIER, 1978; PADULOSI; NG, 1997; SMARTT, 1990; VERDCOURT, 1970). No Brasil são cultivados os cultigrupos *Unguiculata*, para produção de grão seco e feijão-verde, e *Sesquipedalis*, comumente chamado de feijão-de-metro, para produção de vagem.

O feijão-caupi é uma cultura de origem africana, a qual foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses no Estado da Bahia (FREIRE FILHO, 1988). É nativo da África e bastante cultivado nas regiões tropicais dos continentes africano, asiático e americano (SILVA et al., 2008). É importante ressaltar que o feijão caupi, por ser uma cultura muito cultivada no Brasil, possui vários nomes populares em todas as regiões, sendo assim fácil de ser confundido pelas pessoas. Desta forma, para minimizar as dúvidas e incertezas que possam existir, alguns desses nomes mais populares usados no Brasil são: feijão-macassar e feijão-de-corda, na região Nordeste; feijão de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul (FREIRE FILHO; CARDOSO; ARAÚJO, 1983).

Aspectos culturais e produtivos do feijão caupi

O bom desenvolvimento da cultura ocorre na faixa de temperatura de 18 a 34° C, desta forma, se desenvolvendo de forma excelente nas regiões tropicais e subtropicais do país. A temperatura base abaixo da qual cessa o crescimento varia com o estágio

fenológico. Para a germinação, varia de 8 a 11° C (CRAUFURD et al., 1996a), enquanto para o estágio de florescimento de 8 a 10° C (CRAUFURD et al., 1996b). Altas temperaturas prejudicam o crescimento e o desenvolvimento da planta de feijão-caupi, exercem influência sobre o abortamento de flores, o vingamento e a retenção final de vagens, afetando também o componente do número de sementes por vagem (ELLIS et al., 1994; CRAUFURD et al., 1996b).

Com relação ao crescimento e a luminosidade, o feijão-caupi é uma planta do tipo C3, portanto, segue o mecanismo de carboxilação, chamado de processo redutivo da pentose fosfato (ciclo de Calvin ou ciclo de Benso-Calvin). Através desse mecanismo a planta de feijão-caupi fixa o CO₂ atmosférico metabolizando-o em compostos orgânicos que vão compor a estrutura da planta que é formada em mais de 90 % por compostos de carbono e em menos de 10 % por elementos minerais. Sendo uma planta C3, o feijão-caupi satura-se fotossinteticamente à intensidade de luz relativamente baixas, isto é, entre de 10.000 e 40.000 lux (CARDOSO et al., 2000). A radiação solar é considerada um fator de importância para o crescimento e desenvolvimento do feijão caupi, pois influencia diretamente em sua fotossíntese, desta forma sem ataque de pragas ou de doenças, a máxima produtividade da cultura do feijão caupi passa depender principalmente da taxa de interceptação de luz. Portanto as plantas de feijão-caupi são consideradas eficientes na interceptação da energia luminosa por causa das suas folhas sem pelos e de coloração verde-escura.

A melhor época de semeadura para as variedades de feijão-caupi de ciclo médio (70 a 80 dias) corresponde à metade do período chuvoso de cada região. Para as variedades de ciclo precoce (55 a 60 dias), o ideal é semear cerca de dois meses antes de terminar o período chuvoso. Com isso evita-se que a colheita seja feita em períodos com maior probabilidade de ocorrência de chuvas (CARDOSO et al., 2000).

O feijão-caupi pode ser cultivado em quase todos os tipos de solo merecendo destaque para o Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (Argissolo Vermelho-Amarelo), Aluviões (Neossolos Flúvicos) e Areias Quartzosas (Neossolos Quartzorenicos) (OLIVEIRA; CARVALHO, 1987; MELO et al., 1988).

Pelo seu alto valor nutritivo, o feijão-caupi é cultivado principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes, para consumo humano (MEDEIROS, 2008) caracterizado por ser uma leguminosa de alto conteúdo protéico, nas quais suas sementes são fontes de aminoácidos, tiamina e niacina, além de fibras dietéticas, por isso é uma

boa opção para a melhoria da qualidade de vida, especialmente da população carente no meio rural e urbano (FONSECA et al., 2010), por isso se destaca no estado do Maranhão, pois a maioria das famílias de baixa renda sobrevive dessa cultura. A cultura do feijão-caupi também é importante para muitos países da África e da Ásia, pois representa uma fonte alternativa de proteína, já que seus grãos contêm dez dos aminoácidos essenciais ao ser humano (FREIRE FILHO et al., 2005). Em países africanos, especialmente em áreas de savana, e no Brasil, os solos onde o feijão-caupi é cultivado são pobres em matéria orgânica e em nitrogênio, como é característico na maioria dos solos de regiões tropicais (MELO et al., 2003).

Historicamente, o feijão-caupi no Brasil apresenta baixa produtividade de grãos, mas nos últimos anos estudos tem sido realizados para reverter essa situação. No entanto, o potencial produtivo da cultura é estimado em 6000 kg ha⁻¹, (FREIRE et al., 2005). Mesmo o feijão caupi apresentando boa produtividade, maior que a média nacional de 369 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO et al., 2011), há grande potencial de crescimento, uma vez que o manejo do solo é inadequado e a adubação normalmente é realizada sem uso de resultados das análises do solo, o que indica a necessidade do uso de práticas que possam viabilizar aumentos na produtividade, de maneira ecológica e economicamente sustentável, culturalmente aceita e socialmente justa (SOARES et al., 2006).

Importância Econômica do feijão caupi

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão, consumindo toda a sua produção, e ainda importa quantidades complementares a sua demanda, fato que o torna grande importador. A área colhida, a produção e a produtividade oscilam muito de ano para ano, em virtude, principalmente, das variações climáticas. Estima-se que 70 % do feijão produzido no território brasileiro sejam do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e 30 % do feijão-caupi. Contudo, esses dados não descrevem a realidade dos Estados das regiões Nordeste e Norte, cuja produção é quase que exclusiva de feijão-caupi. A região Nordeste com climas tropicais proporciona condições edafoclimáticas favoráveis ao feijão-caupi, com condições semelhantes ao país africano, seu local de origem (BRITO et al., 2011). Nessas regiões, essa cultura desempenha papel importante na alimentação e na geração de empregos para a população de baixa renda (ZILLI et al., 2006). É importante ressaltar que o feijão-caupi, além de ser considerado alimento essencial na mesa dos consumidores das regiões Norte e Nordeste, exerce papel significativo como gerador de emprego e renda

na zona rural como também urbana, de modo a possibilitar oportunidades de negócio para os produtores e agroindústrias (FREIRE FILHO et al., 2011).

Constata-se que o cultivo do feijão-caupi está se expandindo para a região dos cerrados, das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, onde é incorporado aos arranjos produtivos como safrinha após as culturas da soja e do arroz, e, em alguns locais, como cultura principal. Na região dos cerrados, principalmente quando é cultivado em forma de safrinha, o feijão-caupi tem um custo muito competitivo, fator que tem feito aumentar o interesse dos produtores pela cultura. Além disso, a produção é de alta qualidade, o que possibilita que o produto seja bem-aceito por comerciantes, agroindustriais, distribuidores e consumidores.

Nos Cerrados das regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste, o feijão-caupi tem modificado a estrutura tradicional de produção e de mercado. Até 1990, era quase exclusivamente uma cultura de pequenos e médios agricultores de base familiar, com tecnologia de baixo uso de insumos. Porém, atualmente, a cultura passou a ocupar outros cenários agrícolas, em áreas de perímetro irrigado e na safrinha, após a cultura da soja, e começou a ser cultivada por grandes produtores, com maior adoção de tecnologia (MARTINS et al., 2003; SOARES et al., 2006). Entretanto, ainda é constatada baixa utilização de tecnologia, principalmente na primeira e na segunda safra, resultando em menor produtividade, equivalente a 920 kg ha⁻¹ (NASCENTE et al., 2014).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), o consumo de feijão da população brasileira é em média de 14,94 kg/hab/ano. É válido destacar ainda, os dados positivos do Ministério da Agricultura que mostram um crescimento no consumo de feijão no Brasil, um aumento de cerca de 1,22 % ao ano, no período 2009/2010 a 2019/2020, passando de 3,7 milhões de toneladas para 4,31 milhões de toneladas (MAPA, 2010).

Nesse aspecto, o estudo de taxas geométricas de crescimento (*shift-share*) envolve modelos matemáticos que quantificam e possibilitam apontar a necessidade de cada região, os problemas que devem ser corrigidos para a expansão, desenvolvimento e crescimento da produção agrícola da cultura em questão no local em que estão inseridos (MESQUITA, 1998).

Adubação Nitrogenada

O nitrogênio (N) é um dos mais importantes nutrientes utilizados para o desenvolvimento das plantas. Nos sistemas de produção agrícolas, a sua oferta é naturalmente limitada no solo, o que restringe os rendimentos produtivos das plantas (ROBERTSON; VITOUSEK, 2009). O nitrogênio (N) é um macro nutriente fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas, pois exerce importantes funções em processos bioquímicos e por constituir moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofilas (FLECK et al., 2001). Para o feijoeiro, o N é o nutriente absorvido em maior quantidade (NASCIMENTO et al., 2004), e essa absorção ocorre praticamente durante todo o ciclo da cultura, mas a época de maior exigência está entre 35 e 50 dias após a emergência (R5) (VALDERRAMA et al., 2009), o que justifica a adubação de cobertura no estágio V3 e V4. Segundo MAIA et al. (2005) afirmam que o teor de proteínas do feijão pode ser alterado através da adubação utilizada, principalmente pelo teor de nitrogênio contido nos fertilizantes.

Segundo Andrade et al. (2004) o teor de proteínas em grãos de feijão foi diretamente relacionado com a adubação nitrogenada, utilizando três diferentes doses do fertilizante, os feijões produzidos com a maior dose foram os que tiveram o maior teor de proteínas, bem como a menor dose foi a responsável pela produção dos grãos com menos proteínas. No entanto, a aplicação de N mineral em solos tropicais normalmente apresenta baixa eficiência de recuperação pelas plantas sendo, normalmente, inferior a 50 % e podendo, em determinadas situações, em solos arenosos, limitar-se entre 5 a 10 %, devido às grandes perdas por lixiviação e volatilização (DUQUE et al., 1985).

A adubação nitrogenada na cultura do feijão-comum em várzeas tropicais propicia ao produtor ganho econômico considerável em razão da resposta da planta ao nutriente, onde a aplicação de parte do nitrogênio incorporada ao solo foi mais eficaz que a aplicação a lançar na superfície (SANTOS et al., 2009). Stone e Moreira, (2001) verificaram que os números de vagens por planta, massa de 100 sementes e produtividade do feijoeiro, responderam significativamente ao emprego de N, aplicados aos 35 dias após a emergência, sob o sistema de plantio direto. Constataram ainda que houve aumento na produtividade com o decorrer de vários anos de cultivo com o incremento das doses desse nutriente.

Estudos recentes mostram que o suprimento de N através da adubação mineral afeta o processo de fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. (OLIVEIRA et al., 2003) diz que as plantas podem absorver diretamente o N presente no solo, pois encontra

numa forma mais acessível. Xavier (2006) constatou que a crescente dose de nitrogênio diminui a nodulação do feijão caupi e também não houve aumento significativo no acúmulo de matéria seca.

O manejo de adubação nitrogenada difere do manejo dos demais nutrientes porque a tomada de decisão envolve aspectos técnicos, econômicos e ambientais (CERETTA; SILVEIRA, 2002), uma vez que este nutriente está sujeito a perdas por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização (AMADO et al., 2002). Tendo em vista a crescente demanda por fertilizantes nitrogenados e a preocupação com as possíveis perdas e contaminação do ambiente (FERNANDES; LIBARDI, 2007), torna-se necessária aplicação de N na forma parcelada em cobertura (YAMADA; ABDALA, 2000) para se buscarem alternativas de suprimento de N via fixação biológica ou fertilizantes alternativos.

Adubação Fosfatada

O fósforo (P) é o nutriente que mais tem aumentado a produção de grãos (MALAVOLTA, 1972) e a metade da área agricultável do planeta apresenta problemas com baixa disponibilidade de P às plantas. Em solos tropicais, a prática da adubação fosfatada é imprescindível para a obtenção de produtividades adequadas pela maioria das culturas de interesse econômico (SANCHEZ; SALINAS, 1981).

Segundo Barber (1984), o P no solo pode ser dividido em quatro categorias: P na forma iônica e em compostos na solução do solo; P adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de P e P componente da matéria orgânica. O mecanismo de difusão é o principal responsável pelo contato entre o fosfato e as raízes no solo e depende de fatores como a concentração do nutriente na solução, poder tampão do solo e o coeficiente de difusão do elemento no solo.

Para obter alta produtividade de grãos é necessária a utilização da adubação fosfatada, o que tem ocasionado a intensificação de definir doses mais adequadas para as culturas, que possibilitem maiores retornos econômicos (FAGERIA, 1990). Conhecer o efeito da adubação fosfatada no solo auxilia no manejo deste nutriente (SILVA et al., 2003).

Além da aplicação de adubos fosfatados, a forma como esses insumos são aplicados deve ser também considerada no manejo das culturas, uma vez que os solos tropicais geralmente apresentam elevado poder de adsorção de fosfatos. Segundo Novais et al. (1985), em função das elevadas taxas de adsorção de fósforo P, a aplicação

localizada deste nutriente pode ser mais vantajosa, principalmente em solos com baixos teores de P disponível. No entanto, a prática da calagem, que contribui para a fertilidade dos solos e na maior disponibilidade de fósforo, é pouco utilizada pelos produtores de feijão-caupi da região amazônica, o que dificulta na maioria das vezes a boa produtividade da cultura.

As classes dos Latossolos e Argissolos ocupam mais de 70 % da superfície da região amazônica, são na sua maioria ácidos e com baixa disponibilidade de fósforo, que constitui fator limitante à produção vegetal. Em contrapartida apresentam condições de resistência do solo à penetração, densidade do solo, umidade do solo e grau de flocculação da argila favoráveis para o cultivo de leguminosas (UCHÔA et al., 2009).

Dentre as fontes de P solúvel existentes, o superfosfato simples (SFS) e triplo (SFT) são as mais utilizadas (LANA et al., 2004) e, em solos altamente intemperizados, são aplicadas doses altas, devido ao processo de adsorção aos argilo minerais e óxidos de ferro e alumínio. O SFS tem a vantagem de também adicionar S para o solo e, conseqüentemente, suprir as necessidades das plantas com este elemento. Por outro lado, o SFT apresenta maior concentração de P_2O_5 , diminuindo a quantidade bruta a ser aplicada na adubação. Vários trabalhos já verificaram o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e nodulação em leguminosas herbáceas (BURITY et al., 2000; SILVA; VAHL, 2002) e arbóreas (ARAÚJO et al., 2001 b).

Apesar de extraído em menor quantidade do que outros macronutrientes, o P é considerado o principal fator limitante da produção da cultura (FREIRE FILHO et al., 2005). O P auxilia na nodulação pela transferência de energia na forma de Adenosina Trifosfato ATP, sendo ainda importante para o estabelecimento de nodulação, pois aumenta o número de pelos radiculares proporcionando mais sítios de infecção para as bactérias fixadoras de N_2 (OKELEYE; OKELANA, 1997).

Trabalhos realizados em solos da Amazônia apontam uma elevada variação na capacidade de adsorção de fósforo (MELO, 2002; FALCÃO; SILVA, 2004). Para Alves et al. (1999), a aplicação localizada de P deve ser adotada com cautela, pois embora tenha a vantagem de reduzir temporariamente a absorção deste elemento pelo solo, contribui para a redução do volume de raízes, já que o P se movimenta muito pouco na maioria dos solos, com isso, pouco P é perdido por lixiviação. Há, de modo geral, maior crescimento de raízes, de modo particular de raízes mais finas, no local da aplicação da fonte de P, o que pode compensar, parcial ou totalmente, a baixa disponibilidade de P fora desse local (BARBER, 1995). Este comportamento tem sido verificado em muitas culturas, tanto em

trabalhos realizados sob condições controladas (CASTILHOS, ANGHINONI, 1988; ANGHINONI, 1992), quanto em condições de campo (VASCONCELOS et al., 1986; PRADO et al., 2001; BEDIN et al., 2003).

Leal e Prado (2008) verificaram que as plantas de feijão que foram submetidas à deficiência de fósforo apresentaram diminuição do número de folhas, da altura da planta, do diâmetro de caule e da área foliar, diminuição da produção de matéria seca de folhas (93 %), caule (95 %) e raízes (88 %), por isso a preocupação do melhor manejo desse nutriente bem como a dose ótima para não acarretar na perda da produtividade. Grant et al., (2001) relatam que a deficiência desse nutriente diminui o número de sementes por vagem, crescimento e o desenvolvimento das plantas de trigo. Alguns trabalhos verificaram aumentos significativos entre as doses de fósforo e a produtividade do feijoeiro (VALDERRAMA et al, 2009; SILVA; VAHL, 2002; MIRANDA et al, 2000).

Dessa forma, existe poucas informações sobre adubação fosfatada e quais as melhores formas de aplicação do fósforo para a cultura do feijão-caupi (FONSECA et al., 2010; SILVA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011), o que indica a necessidade da realização de estudos para subsidiar a recomendação das doses de fósforo para a cultura no estado do Maranhão.

Fixação Biológica de Nitrogênio

O feijão-caupi apresenta a capacidade de se associar com diversas estirpes de rizóbio de gêneros como *Azorhizobium*, *Paraburkholderia*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium*, dentre outros, o que fornece à planta hospedeira a totalidade do N demandado para o seu desenvolvimento, por meio do processo de fixação biológica do nitrogênio (FBN) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Nos sistemas produtivos de feijão-caupi, a FBN tem um papel fundamental na manutenção da produtividade, além de diminuir os custos relacionados à adubação nitrogenada e ainda ser uma forma de adubação nitrogenada ecologicamente correta.

O feijão-caupi, através da simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, pode obter N através do processo de fixação biológica do N₂ (FBN) que, segundo Franco et al. (2002), é uma das formas de incrementar a produtividade de leguminosas, evitando-se custos com adubos nitrogenados solúveis, além de diminuir os impactos ambientais causados por adubos sintéticos. Além disso, FBN permite ser introduzida em solos com

baixos teores de matéria orgânica (ZILLI et al., 2006). Como forma de elevar a produtividade da cultura e baixar os custos de produção, aumentando a renda do produtor rural, vislumbra-se a possibilidade de exploração da FBN através da adoção da prática de inoculação das sementes com estirpes de bactéria do grupo rizóbios eficiente sem simbiose com as plantas, principalmente em leguminosas (ZILLI et al., 2009).

A FBN é reconhecidamente eficiente em feijão-caupi que, quando bem nodulado, pode atingir altos níveis de produtividade (RUMJANEK et al., 2005). Além de minimizar o custo da produção, ao reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados, essa tecnologia traz benefícios para o meio ambiente e propicia aumentos na fertilidade e na matéria orgânica do solo. A estimativa da contribuição da FBN em feijão-caupi está na ordem de US\$ 13 milhões, somente para a região Nordeste (RUMJANEK et al., 2005), pois o uso de práticas de baixo uso de insumos, como a aplicação biotecnológica de bactérias fixadoras de N₂, tem contribuído para elevar a produtividade da cultura em até 50 % em algumas áreas, garantindo desta forma a produção e rentabilidade ao produtor.

As utilizações de produtos biológicos são alternativas que apresentam controle dos principais patógenos e aumento de rendimento das culturas e, conseqüentemente, a produção de grãos de feijão-caupi (CHAGAS JÚNIOR et al., 2014). A inoculação de rizóbios contribui para elevar a eficiência no uso de nitrogênio e produtividade na cultura do feijão caupi (BARROS et al., 2013). Além de diminuir os custos da produção, reduzindo o uso intensivo de fertilizantes nitrogenados (RUFINI et al. 2014), essa tecnologia proporciona benefícios ao ambiente e colabora com incremento na fertilidade e acúmulo de matéria orgânica (GUALTER et al., 2011) e além de melhorar as propriedades biológicas do solo. Entretanto, a nodulação e a FBN são influenciadas por fatores edafoclimáticos que podem trazer benefícios ou prejuízos ao processo se este produto for vendido sem registro poderá causar perdas na produção agrícola o que se constitui em um ato lesivo ao agricultor, já que o registro é a garantia de que o produto passou pelos testes de eficiência agrônômica, sendo aprovado para uso. A disponibilidade de nutrientes está entre os principais fatores que influenciam a FBN e, dentre os principais nutrientes que influenciam tal processo, cita-se o fósforo P e o Nitrogênio N. Apesar de ter a sua eficiência agrônômica reconhecida, o desempenho em campo destas bactérias pode ser variável, a depender das condições edafoclimáticas, genótipo vegetal etc. (MARINHO et al., 2014). Além disso, segundo Moreira e Siqueira, (2006) para se utilizar a tecnologia de inoculação, primeiramente são necessárias pesquisas para determinar as melhores estirpes a serem utilizadas como inoculantes numa determinada região, pois

estas sofrem interferências das condições em que estão sendo submetidas, tais como: acidez, disponibilidade de nutrientes, temperatura e umidade do solo

Vários trabalhos têm demonstrado os efeitos positivos do processo de FBN em feijão-caupi (XAVIER et al., 2006, XAVIER et al., 2007; XAVIER et al., 2008). Embora a aplicação de bactérias fixadoras de N₂ em feijão-caupi seja importante, muito pouco se sabe sobre o seu comportamento na região maranhense. Em virtude da falta de resultados precisos e conclusivos, mais estudos são necessários para avaliar a eficiência de estirpes de rizóbio em nosso estado.

REFERÊNCIAS

ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELOS, C.A.; NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, C.A.; FRANÇA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 299-305, 1999.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de cultura de cobertura do solo, *sob plantio direto*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 241 – 248, 2002.

ANDRADE, C.A.B.; PATRONI, S.M.S.; CLEMENTE, E. & SCAPIM, C.A. Produtividade e qualidade nutricional de cultivares de feijão em diferentes adubações. *Ci Agrotec.*, v. 28, p. 1077-1086, 2004.

ANGHINONI, I. Uso do fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 349-353, 1992.

ARAÚJO, A. S. F.; BURITY, H. A.; LYRA, M. C. C. P. Influência de diferentes níveis de fósforo na associação *Rhizobium*- fungo micorrizico arbuscular em algaroba (*Prosopis juliflora*). **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 6, p. 1-7, 2001b.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BARTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v.31, n.4, p.715-722, 2001.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York, John Willey, 1984.

BARBER, S.A. 1995. Mecanismos de absorção de fósforo sob condições de estresse ambiental, p. 233-237. In: *Simpósio Internacional sobre Estresse Ambiental*. 1, Belo Horizonte. *Anais*, Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

BARROS, R. L. N.; OLIVEIRA, L. B.; MAGALHÃES, W. B.; MÉDICI, L. O.; PIMENTEL, C. Interação entre inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada de plantio na produtividade do feijoeiro nas épocas da seca e das águas. **Semana: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1443-1450, 2013.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; FAQUIM, V.; TOKURA, A.M.; SANTOS, J.Z.L. 2003. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 639-646.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 206-215, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000100027>.

BRITO, M. DE M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. DA. Marcha de absorção do Nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) WALF) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com o uso de ¹⁵N. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 3, p. 895 – 905. 2009.

BÜLL, L.T.; COSTA, M.C.G.; NOVELLO, A.; FERNANDES, D.M.; VILLAS BÔAS, R.L. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 516-521, 2004.

BURITY, H. A.; LYRA, M. C. C. P.; SOUZA, E. S. Efetividade da inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares em mudas de sabiá submetidas a diferentes níveis de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 801-807, 2000.

CALONEGO, J.C., RAMOS JUNIOR, E.U., BARBOSA, R.D., LEITE, G.H.P., GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n.3, p. 334-340, 2010

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; LIMA, M. G. Clima e aspectos de plantio. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **Acultura do feijão-caupi no meio-norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p.49-88.

CASTILHOS, D.D.; ANGHINONI, I. Influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular sobre o comportamento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 263-267, 1988.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N. & SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, p. 49-54, 2002.

CHAGAS JÚNIOR, A. F.; OLIVEIRA, A. G.; SANTOS, G. R.; REIS, A. F. B.; CHAGAS, L. F. B. Promoção de crescimento em feijão-caupi inoculado com Rizóbio e *trichoderma* spp. no Cerrado. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 190-199, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2016/2017, v. 4, n. 11, 2017.

CRAUFURD, P. Q.; ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J.; MENIN, L. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, v.32, p.1-12, 1996a.

CRAUFURD, P. Q.; SUMMERFIELD, R. J.; ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). III. Effect of temperatura and photoperiod

on time flowering in photoperio-sensitive genotypes and screening for photothermal responses. **Experimental Agriculture**, v.32, p.29-40, 1996b.

DUQUE, F. F.; NEVES, M. C. P.; FRANCO, A. A.; VICTÓRIA, R. L.; BODDEY, R. M. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* to *Rhizobium* inoculation and qualification of N₂ fixation using 15N. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 88, p. 333-343, 1985.

ELLIS, R. H.; LAWER, R. J.; SUMMERFILELD, R. J.; ROBERTS, E. H.; CHAY, P. M.; BROUWER, J. B.; ROSE, J. L.; YEATES, S. J. Towards the reliable prediction on time to flowering in six annual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Experimental Agriculture**, v.30, p.17-29, 1994.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Nordeste e no maranhão (1985 a 2016): área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acessado em: 12/02/2018.

FAGERIA, N. K. Calibração de análise de fósforo para arroz em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 4, p. 579-586, 1990.

FALCÃO, N.P. DE S.; SILVA, J. R. A. DE. 2004. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta amazônica**, 34:337-342.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n. 3, p. 285-296, 2007.

FLECK, N. G. et al. Ação dos herbicidas atrazina e glufosinate de amônio no aproveitamento de nitrogênio pelas plantas de milho. **Planta Daninha**, v. 19, p. 235-245, 2001.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R.; 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**, v. 53, n. 2, p. 195-205, 2010.

FRANCO, M. C.; CASSINI, S.T. A.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C.; TSAI, S.M. Nodulation in Andean and Mesoamerican cultivars of dry bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1145-1150, 2002.

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, 1988. p. 26-46.

FREIRE FILHO, F. R. et al. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. **Embrapa Meio-Norte**, Teresina, 84 p, 2011.

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

FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. de. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 12, p. 1369-1372, dez. 1983.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; BARRETO, P.D.; SANTOS, A.A. dos. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A. de A.; RIBEIRO, V.Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p.28-92.

GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Piracicaba: (Informações Agronômicas, 95). ESALQ, 2001.

GUALTER, R. M. R.; BODDEY, R. M.; RUMJANEK, N. G.; FREITAS, A. C. R.; XAVIER, G. R. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 3, p. 303-308, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000300011>.

HARPOLE, W.S.; NGAI, J.T.; CLELAND, E.E.; SEABLOOM, E.W.; BORER, E.T.; BRACKEN, M.E.; ELSER J.J.; GRUNER, D.S.; HILLEBRAND, H.; SHURIN, J.B.; SMITH, J.E. Nutrient co-limitation of primary producer communities. **Ecology Letters**, v.14, p.852–862, 2011.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015. *Dados Agropecuários*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em 12/02/2018.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 525-528, 2004.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.275-294, 2002.

LEAL, R.M.; PRADO, R.M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.301-306, 2008.

LIU, C.; WANG, Y.; PAN, K.; JIN, Y.; LI, W.; ZHANG, L. Effects of phosphorus application on photosynthetic carbon and nitrogen metabolism, water use efficiency and growth of dwarf bamboo (*Fargesia rufa*) subjected to water deficit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.96, p.20-28, 2015.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C. DE.; PORTO FILHO, F. de Q.; GUEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de. Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.292-295, 2005.

MALAVOLTA, E. Nutrição e Adubação. Simpósio Brasileiro de Feijão, 1. 1971, Viçosa, Anais UFV, p. 209- 242, 1972.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio:** Brasil 2009/2010 a 2019/2020, 2 ed. Brasília, p. 76, junho 2010.

MARÉCHAL, R.; MASCHERPA, J. M.; STAINIER, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres Phaseolus et Vigna (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, Geneve, v. 28, p. 1-273, 1978.

MARINHO, R. de C.N.; NÓBREGA, R.S.A.; ZILLI, J.É.; XAVIER, G.R.; SANTOS, C.A.F.; AIDAR, S. de T.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES JÚNIOR, P.I. Field performance of new cowpea cultivars inoculated with efficient nitrogen-fixing rhizobial strains in the Brazilian Semiarid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 5, p. 395-402, 2014.

MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W.; RIBEIRO, J.R.A.; NEVES, M.C.P.; MORGADO, L.B.; RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the Semi-Arid Region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, p.333-339, 2003.

MEDEIROS, R. et al. Estresse salino sobre a nodulação em feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 202-206, 2008.

MELO, F. de B.; ITALIANO, E. C.; CARDOSO, M.J. Influência da saturação de alumínio e níveis de fósforo na produção de feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: SEMINÁRIO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PIAUÍ, 5, Teresina, 1988. Anais...Teresina: EMBRAPA/UEPAE de Teresina, 1988. p.61-65.

MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S. C. P. **Características edafológicas dos solos do Estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2003.28 p. (Embrapa Roraima. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 1).

MELO, V.F. 2002. Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: área indígena Maloca do Flechal e de colonização do Apiaú. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 145 pp.

MESQUITA, T. C. **Estudos de economia agrícola**. Sobral: UVA, 168 p, 1998.

MIRANDA, L. N.; AZEVEDO, J.A.; MIRANDA, J.C.; GOMES, A. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regime de irrigação em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 703-710, 2000.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, v.1, 2006. 729p.

NASCENTE, A. S.; COBUCCI, T.; SOUSA, D. M. G.; LIMA, D. P. Produtividade do feijoeiro comum afetada por fontes de fósforo com ou sem cálcio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 2, p. 180-185,2014. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2014.012>.

NASCIMENTO, M. S.; ARF, O.; SILVA, M. G. Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 153-159, 2004.

NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto à fonte de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 20, p. 749-754, 1985.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399p.

OKELEYE, K. A.; OKELANA, M. A. Effect of phosphorus fertilizer on nodulation, growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Dehli, v. 67, p. 10-12, 1997.

OLIVEIRA, A. P. SILVA, V. R. F; ARRUDA, F. P. de; NASCIMENTO, I. S. do; ALVES, A. U. Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. *Horticultura Brasileira*, v.21, n1. Brasília, 2003.

OLIVEIRA, G. A.; ARAÚJO, W. F.; CRUZ, P. L. S.; SILVA, W. L. M.; FERREIRA, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. **A cultura do caupi nas condições dos trópicos úmidos e semi-árido no Brasil**. Goiânia, EMBRAPA- CNPAF, 1987, 18p.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origintaxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHANRAJ, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. 2001. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 83-90.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. *Ciência Rural*, v.33, p.1053-1059, 2003.

ROBERTSON, G. P.; VITOUSEK, P. M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. **Annual Review of Environment and Resources**. v. 34, p. 97–125, 2009.

RUFINI, M.; SILVA, M. A. P.; FERREIRA, P. A. A.; CASSETARI, A. S.; SOARES, B. L.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Symbiotic efficiency and identification of rhizobia that nodulate cowpea in a Rhodic Eutradox. **Biology and Fertility of Soils**, v. 50, n. 1, p. 115-122, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-013-0832-4>.

RUMJANEK, N. G.; MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; NEVES, M. C. P. Fixação biológica do nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Eds.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2005. p. 281-335.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. 1981. Low input Technology of managing oxisol sandultisols in tropical América. *Adv. Agron.*, 24: 280-406.

SANTOS, J. F. DOS.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L. M. P.; OLIVEIRA, M. M. DE.; OLIVEIRA, M. E. C. DE. Novas variedades de caupi para a microrregião do Brejo Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**. João Pessoa, v.3, n.3, p.07-12, set. 2009.

SELLSCHOP, J. P. F. Cowpeas: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Field Crop Abstracts**, Slough, v. 15, n. 4, p. 259-266, Oct./Dec. 1962.

SHUBHRA; DAYAL, J.; GOSWAMI, C.L.; MUNJAL, R. Influence of phosphorus application on water relations, biochemical parameters and gum content in cluster bean under water deficit. **Biologia Plantarum**, v.48, p.445-448, 2004.

SILVA, A.J.; UCHÔA, S.C.P.; ALVES, J.M.A.; LIMA, A.C.S.; SANTOS, C.S.V.; OLIVEIRA, J.M.F.; MELO, V.F. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. **Acta amazônica**, v. 40, n. 1, p. 31-36, 2010.

SILVA, M. A.; NÓBREGA, J. C. A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, 2003.

SILVA, R. J. S.; VAHL, L. C. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada num neossolo litólico distrófico da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 8, n. 2, p. 129-132, 2002.

SILVA, R. P. et al. Efetividade de estirpes selecionadas para feijão caupi em solo da região semi-árida do sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 2, p. 105-110, 2008.

SMARTT, J. **Grain legumes: evolution and genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 333 p.

SOARES, A.L.L.; PEREIRA, J.P.A.R.; FERREIRA, P.A.A.; DO VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I – Caupi (1). **Revsita Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.5, p.795-802, 2006.

STACEY, G.; LIBAUT, M.; BRECHENMACHER, L.; WAN, J.; MAY, G. D. Genetics and functional genomics of legume nodulation. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 9, p. 110-121, 2006.

TEÓFILO, E.M.; DUTRA, A.S.; PITIMBEIRA, J.B.; DIAS, F.T.C.; BARBOSA, F. DE S. Potencial fisiológicos de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, n.03, p.443-448, 2008.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.36, n.3, p.473-481, 2001.

- UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; CRAVO, M. S.; SILVA, A. J.; MELO, V. F.; FERREIRA, G. B.; FERREIRA, M. M. M. Fertilidade do solo. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. **A cultura do feijão-caupi na Amazônia brasileira**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. p. 131-183.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S. ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SA M. E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 03, p. 191-196, 2009.
- VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; PITTA, G.V.E. 1986. Doses, modos de aplicação e fontes de fosfatos na produção de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21 p. 245-254, 1986.
- VERDCOURT, B. Studies in the leguminosae: papilionoideae for the 'Flora of tropical East Africa'. **Kew Bulletin**, London, v.24, p. 507-569, 1970.
- VITOUSEK, P. M., S. PORDER, B. Z. Houlton, and O. A. Chadwick. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen–phosphorus interactions. **Ecology Applications**, v.20, p.5–15, 2010.
- WHITE, P.J.; HAMMOND, J.P. **Phosphorus Nutrition of Terrestrial Plants**. The Ecophysiology of Plant–Phosphorus Interactions. Springer, p.51–81, 2008.
- XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; RIBEIRO, J. R. A.; RUMJANEK, N. G. Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga**, Mossoró, v.19, p.25-33,2006.
- XAVIER, T. F. efeito da adubação nitrogenada sobre a nodulação do feijão caupi. **Paraíba**: Universidade Federal do Piauí, 2006.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Influência da inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2037-2041, 2008.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 572-575,2007.
- YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba: POTAFOS, n.91, p.1-5, 2000.
- ZEBARTH, B.J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal of Soil Science**, v.89, n.2, p.113-132, 2009.
- ZILLI, J. E. et al. Eficiência de Simbiótica de Estirpes de Bradyrhizobium isoladas de solo do Cerrado em Caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 201-210, 2006.
- ZILLI, J. É.; MARSON, L. C.; MARSON, B. F.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Contribuição de estirpes de rizóbio para o desenvolvimento e produtividade de grãos de feijão-caupi em Roraima. **Acta amazônica**, v. 39, n. 4, p. 749-757, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000400003>.

CAPÍTULO II

Manuscrito de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

1 **FORMAS DE APLICAÇÃO DO FÓSFORO ASSOCIADO A BACTÉRIAS**
2 ***Bradyrhizobium* AUMENTAM A PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DO**
3 **NITROGENIO EM FEIJÃO CAUPI.**

4
5 **RESUMO:** A nutrição mineral é o alicerce da produção agrícola, para manter um solo
6 fértil e com alta produtividade é fundamental que os nutrientes sejam sempre repostos.
7 Objetivou-se verificar se a forma de aplicação do fósforo aumenta a eficiência do uso do
8 nitrogênio e a produtividade de grãos da cultura do feijão caupi inoculada com
9 *Bradyrhizobium* em diferentes doses de nitrogênio. Os tratamentos foram arranjados em
10 esquema fatorial 3 x 4 + 2: três formas de aplicação de fósforo (lanço, parcelada no
11 sulco PS e Sulco de plantio SP), quatro doses de N (0, 20, 60 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas
12 em cobertura e dois tratamentos adicionais, apenas sementes inoculadas com
13 *Bradyrhizobium* sp. e outro controle (sem fertilização e bactérias). Utilizou-se o
14 delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi
15 constituída de quatro fileiras de 4 m, espaçadas de 0,80 m. Foram distribuídas 10
16 sementes por metro de sulco. A cultivar utilizada foi BRS Guariba. Aos 30 dias após a
17 emergência, no estágio V4, foi realizada a adubação de cobertura. As variáveis
18 avaliadas foram: teor de clorofila, produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), teor de N nos
19 grãos (TNg, g kg⁻¹), conteúdo de N no grão (CNg, kg ha⁻¹), proteína bruta (PB), índice
20 de colheita de N (ICN), índice de colheita de grão (ICg), Remobilização de N (RN, kg
21 ha⁻¹), eficiência de remobilização de N (ERN, %) e eficiência do uso do N (EUN, kg
22 kg⁻¹). A PG não foi influenciada pelas doses de N onde o fósforo foi aplicado a lanço. A
23 média da PG foi 761,52 kg ha⁻¹, o incremento nas doses de N proporcionou acréscimo
24 linear na PG na dose de 120 kg ha⁻¹ de N onde o fósforo foi aplicado no (SP), enquanto
25 no tratamento que o fósforo foi (PS) a PG apresentou comportamento quadrático, com a
26 maior PG na dose de 60 kg ha⁻¹ de N. A máxima PG obtida foi com a dose de 67,54 kg
27 ha⁻¹ de N foi 955,27 kg ha⁻¹. O tratamento apenas com bactéria nas sementes
28 proporcionou incremento de 24,6% na PG em relação ao tratamento controle (sem
29 fertilizantes). As doses de N influenciaram positivamente a produtividade de grãos onde
30 o fósforo foi distribuído em SP e PS. A produtividade de grãos não foi influenciada
31 pelas doses de N onde o fósforo foi aplicado a lanço.

32
33 **Palavras-chave:** Fixação biológica de nitrogênio, nutrição mineral, *Vigna unguiculata*.

34

35 **FORMS OF APPLICATION OF BLOOD MATTERS ASSOCIATED WITH**
36 **BACTERIA *Bradyrhizobium* INCREASED THE PRODUCTIVITY AND**
37 **EFFICIENCY OF THE USE OF NITROGEN IN CAUPI BEANS.**
38

39 **ABSTRACT:** Mineral nutrition is the foundation of agricultural production, in order to
40 maintain a fertile soil with high productivity, it is essential that nutrients are always
41 replenished. The objective of this study was to verify if the application of phosphorus
42 increases the efficiency of nitrogen use and grain yield of cowpea inoculated with
43 *Bradyrhizobium* at different nitrogen rates. The treatments were arranged in a 3 x 4 + 2
44 factorial scheme: three forms of phosphorus application (haul, split in the PS furrow and
45 furrow of SP planting), four N rates (0, 20, 60 and 120 kg ha⁻¹) applied on cover and
46 two additional treatments, only seeds inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and another
47 control (without fertilization and bacteria). The randomized block design with four
48 replications was used. The experimental plot consisted of four rows of 4 m, spaced 0.80
49 m. 10 seeds per meter of furrow were distributed. The cultivar used was BRS Guariba.
50 At 30 days after the emergency, at the V4 stage, cover fertilization was performed. The
51 evaluated variables were: chlorophyll content, grain yield (PG, kg ha⁻¹), N content in
52 grains (TNg, g kg⁻¹), N content in grain (CNg, kg ha⁻¹) (RN, kg ha⁻¹), N
53 remobilization efficiency (RN,%), and efficiency of the use of N (EUN, kg kg⁻¹). The
54 PG was not influenced by the N doses where the phosphorus was applied to the haul.
55 The average of PG was 761.52 kg ha⁻¹, the increase in N doses gave linear increase in
56 PG at the dose of 120 kg ha⁻¹ of N where phosphorus was applied in (SP), while in the
57 treatment that phosphorus (PS), the PG presented quadratic behavior, with the highest
58 PG at the dose of 60 kg ha⁻¹ of N. The maximum PG obtained was at the dose of 67.54
59 kg ha⁻¹ of N was 955.27 kg ha⁻¹. The treatment with only bacteria in the seeds
60 provided an increase of 24.6% in PG in relation to the control treatment (without
61 fertilizers). The N rates positively influenced grain yield where the phosphorus was
62 distributed in SP and PS. The grain yield was not influenced by the N rates where the
63 phosphorus was applied to the haul.

64
65 **Keywords:** Biological fixation of nitrogen, mineral nutrition, *Vigna unguiculata*.
66
67

68 **INTRODUÇÃO**

69 O feijão-caupi [*Vigna Unguiculata* (L.) Walp], é a principal espécie de leguminosa
70 produtora de grãos da região semiárida da África. É uma grande fonte barata de proteína

71 para moradores rurais e urbanos dessa região (Ajeigbe et al., 2012; Dube e Fanadzo,
72 2013). O caupi também é importante componente dos sistemas de cultivo tradicionais
73 pois fixa o nitrogênio atmosférico e contribui para a fertilidade do solo melhora em
74 particular os sistemas agrícolas pequenos, onde é usado pouco ou nenhum adubo, é
75 tolerante à seca e adaptado para ambientes estressantes onde muitas culturas não
76 conseguem crescer bem (Bisikwa et al., 2014; Ddamulira et al., 2015).

77 No Brasil são cultivadas várias espécies de feijão; entretanto, para efeito de regulamento
78 técnico, somente as espécies *Phaseolus vulgaris* (L.) e *Vigna unguiculata* (L.) Walp.,
79 feijão comum e feijão-caupi, respectivamente, são consideradas como feijão pelo
80 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2008). Essas duas espécies
81 são as mais importantes social e economicamente no país. Nas regiões Norte e
82 Nordeste, o cultivo do feijão-caupi está em franca expansão, ocorrendo aumento
83 significativo das áreas plantadas, em diversos estados tendo destaque os estados da
84 Bahia, Ceará e Maranhão. Entretanto, a produtividade ainda é baixa, é necessário que
85 sejam desenvolvidas ou adaptadas tecnologias que estimulem o aumento das áreas de
86 cultivo e sejam capazes de proporcionar aumento da produtividade e retorno econômico
87 ao produtor. Essas novas tecnologias devem dar prioridade à nutrição da cultura do
88 feijão caupi, levando-se em consideração as características edafoclimáticas da região.
89 Ainda, dentro desse pacote tecnológico requer atenção especial em relação ao
90 Nitrogênio (N) e ao Fósforo (P), visto o N tratar-se de nutriente de grande mobilidade
91 no solo e o P de baixa mobilidade, sobretudo em solos arenosos.

92 Devido a importância do N, a sua limitação reduz o crescimento da planta por limitar a
93 capacidade de incorporar carbono, reduz a produção de clorofila e de Rubisco
94 (Marschner, 1995; Jin et al., 2015). Por isso, geralmente é necessário fornecer N às
95 plantas com intuito de aumentar a produtividade e lucratividade da cultura. Diante dessa
96 situação, os agricultores, com intuito de aumentar o rendimento das culturas, aumentam
97 demasiadamente a quantidade de N fornecida sem qualquer critério (Braun et al., 2015).
98 Melhoria na eficiência de utilização do N pode ser conseguida pela redução da perda de
99 N e pela sincronização da demanda da planta por N com o suprimento de N (Zebarth et
100 al., 2009). Isso pode ser conseguido aplicando-se uma parte do adubo nitrogenado no
101 plantio e o restante do N em cobertura. Dentre os vários nutrientes que as plantas
102 necessitam o P ocupa lugar de destaque, devido à sua deficiência na grande maioria de
103 nossos solos. Geralmente o teor de P no solo varia de 0,2 g kg⁻¹ e 5,0 g kg⁻¹, contudo sua
104 disponibilidade para as plantas é limitada devido à forma em que se encontra a fixação

105 inorgânica e a imobilização microbiana (Araújo e Machado, 2006). Além desses
106 nutrientes, a produtividade desta cultura poderia ser aumentada pelo uso de inoculantes
107 de rizóbios eficientes, suprindo as necessidades de nitrogênio da planta (Silva et al.,
108 2006; Zilli et al., 2009), baixando os custos de produção e elevando a renda do produtor.
109 Diante deste cenário nossa hipótese é que o parcelamento da aplicação do P pode
110 promover aumento na eficiência do uso do nitrogênio (EUN) da cultura do feijão caupi
111 inoculada com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* em solos de baixa fertilidade da
112 região do trópico úmido maranhense.

113 Objetivou-se verificar se a forma de aplicação do fósforo aumenta a eficiência do uso do
114 nitrogênio e a produtividade de grãos da cultura do feijão caupi inoculada com
115 *Bradyrhizobium* em diferente disponibilidade de N.

116

117 **MATERIAL E MÉTODOS**

118 **Localização da área experimental**

119 O experimento foi instalado e conduzido na área experimental da Universidade Estadual
120 do Maranhão, no Campus São Luís, São Luís (2° 30' S e 44° 18' W, altitude de 24 m)
121 no período de maio a agosto de 2017. O clima da região na classificação de Köppen é
122 do tipo AW', equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma
123 chuvosa, que se estende de janeiro a junho, e outra seca, com déficit hídrico acentuado
124 de julho a dezembro. As precipitações anuais variam de 1700 mm a 2300 mm, das quais
125 mais de 80 % ocorrem de janeiro a maio. Durante o período do experimento foram
126 determinadas a temperatura, a precipitação pluviométrica e a umidade relativa (Figura
127 1). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo
128 Distrófico arênico com textura fraco arenosa (Embrapa, 2013), e suas características
129 químicas e físicas foram determinadas pela análise de amostras das camadas de 0 a 20
130 cm de profundidade, conforme método descrito por Raij et al. (2001). As características
131 químicas e físicas do solo na camada de 0-20 cm, antes da instalação do experimento,
132 em 2017, foram: pH = 4,5 (CaCl₂); matéria orgânica = 13 g dm⁻³; P = 18 mg dm⁻³; K =
133 0,5mmolc dm⁻³; Ca = 12 mmolc dm⁻³; Mg = 8 mmolc dm⁻³; H + Al³⁺ = 15mmolc dm⁻³;
134 soma de base = 20,5 mmolc dm⁻³; CTC = 35,5 mmolc dm⁻³; V = 58%; areia grossa =
135 230 g kg⁻¹; areia fina = 630 g kg⁻¹; silte = 20 g kg⁻¹; argila = 120 g kg⁻¹; relação
136 silte/argila = 0,16; condutividade a 25 °C = 0,07 mmhos cm⁻¹.

137 **Tratamentos e delineamento experimental**

138 Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial [(3 x 4) + 2]: três formas de
139 aplicação de fósforo (Lanço, Sulco de Plantio - SP e Parcelada no Sulco - PS), na forma
140 de superfosfato simples (20 % de P₂O₅) combinadas a quatro doses de N (0, 20, 60 e
141 120 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura, forma de ureia (45 % de N). Ainda, foram
142 utilizados dois tratamentos adicionais, só inoculante na semente e controle (sem
143 fertilização e bactérias). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com
144 quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 4 m de
145 comprimento, espaçadas de 0,80 m. Foram distribuídas 10 sementes por metro de sulco.
146 As duas linhas laterais serviram como bordadura. A cultivar de feijão caupi utilizada foi
147 a BRS Guariba.

148

149 **Instalação e condução do experimento**

150 Na área experimental, a vegetação predominante foi eliminada por meio de uma
151 roçadeira manual com uma semana de antecedência em relação a instalação e plantio do
152 experimento. Após a roçagem, toda a palhada da área experimental foi deixada sobre a
153 superfície do solo e não recebeu nenhum preparo mecânico para a semeadura, conforme
154 prática realizada pelos agricultores da região. Os sulcos de plantio com
155 aproximadamente 5 cm de profundidade foram abertos manualmente utilizando-se
156 enxadas. Antes da semeadura, as sementes do feijão foram desinfestadas por imersão
157 em solução de hipoclorito de sódio a 0,5 %, durante 15 min e, posteriormente, lavadas
158 em água destilada por 3 min. Posteriormente, a inoculação das sementes foi feita por
159 meio de uma solução açucarada a 1 % para servir como aderente para o inoculante,
160 aplicado na dosagem de 500 g de inoculante para 50 kg de sementes do feijão caupi. As
161 sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* sp. BR 3262. As sementes
162 foram agitadas em sacos plásticos por aproximadamente 5 min após a adição das
163 bactérias para homogeneizar a distribuição das bactérias às sementes.

164 Realizou-se uma adubação de plantio, com 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia e 60
165 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio (60 % de K₂O). A quantidade de 80
166 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi fornecida para as três formas de aplicação do P. Na aplicação a
167 lanço, o fertilizante fosfatado foi distribuído manualmente em toda a área da parcela
168 experimental. Nas aplicações localizadas, o fertilizante fosfatado foi distribuído no
169 sulco de plantio; e as parcelas referentes aos tratamentos com adubação fosfatada
170 parcelada no sulco receberam metade no plantio e metade em cobertura.

171 Aos 30 dias após a emergência (DAE), no estágio V4 (com a quarta folha
172 completamente desenvolvida) realizou-se adubação de cobertura, com 0; 20; 60 e 120
173 kg ha⁻¹ de N. Nessas adubações de cobertura, o adubo nitrogenado foi aplicado a mais
174 ou menos 10 cm das fileiras. Esses sulcos com ureia foram cobertos por uma camada de
175 terra para minimizar a volatilização. Os tratos culturais foram realizados aos 20, 35 e 45
176 DAE. Os controles de pragas e doenças foram realizados conforme a necessidade da
177 cultura.

178 Aos 30 DAE, entre 8:00 e 11:00 h, foram realizadas leituras com o medidor portátil de
179 clorofila clorofilômetro SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development-502*), efetuadas na
180 terceira folha trifoliada completamente desenvolvida, na face adaxial, em duas plantas
181 por parcela. Foram efetuadas cinco leituras em cada folha trifoliada, evitando-se realizar
182 leituras na nervura central, a partir das quais foi obtida a média para folha amostrada. A
183 média das leituras realizadas nas cinco folhas trifoliadas, das duas plantas amostradas,
184 representou o valor da parcela.

185 Foram coletadas duas plantas representativas, aleatoriamente, na antese e na maturação
186 fisiológica. A produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) foi estimada após a colheita de todas
187 as vagens das duas fileiras centrais (5,6 m²) da parcela experimental e o teor de água foi
188 padronizado para 130 g kg⁻¹. As plantas e os grãos colhidos foram colocados em saco de
189 papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem massa
190 constante, para a obtenção da massa da matéria da planta seca. Posteriormente, as
191 matérias das plantas secas e dos grãos secos foram trituradas em moinho tipo Wiley,
192 equipado com peneira de 20 mesh. Uma subamostra de 0,2 g do material moído foi
193 submetida à digestão sulfúrica para a quantificação do teor de N total (g kg⁻¹). O teor de
194 N total da planta foi realizado pelo método de Kjeldahl e determinado por titulação com
195 H₂SO₄ a 0,05N, conforme os procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995). O
196 conteúdo de N total na planta [antese (CNA, kg ha⁻¹), na maturação fisiológica (CNM,
197 kg ha⁻¹)] bem como nos grãos (CNg, kg ha⁻¹) foi determinado pela multiplicação do teor
198 de N em cada fração pela massa de matéria da planta seca e dos grãos secos,
199 respectivamente. Com a multiplicação do teor de N nos grãos (TNg, g kg⁻¹) e o fator
200 6,25, obteve-se o teor de proteína bruta (PB) nos grãos.

201 **Componentes da eficiência do N**

202 Diante dos dados referentes ao conteúdo de matéria seca e de N bem como a
203 produtividade de grãos, foram quantificadas as seguintes variáveis que compõem a
204 eficiência do uso do N:

205 - Índice de colheita de grãos (ICg), $ICg = (CMSg/CMSM)$, em que CMSg, é o conteúdo
206 de matéria seca no grão ($kg\ ha^{-1}$); CMSM, é o conteúdo de matéria seca na maturação
207 fisiológica ($kg\ ha^{-1}$);

208 - Índice de colheita de N (ICN), $ICN = (CNg/CNM)$, em que CNg, é o conteúdo de N
209 nos grãos ($kg\ ha^{-1}$); CNM, é o conteúdo de N na maturação fisiológica ($kg\ ha^{-1}$);

210 - Remobilização do N (RN, $kg\ ha^{-1}$) = CNA – CNM;

211 - Eficiência de remobilização do N (ERN, %) = $[(CNA - CNM) / CNA] \times 100$;

212 - Eficiência do uso do N (EUN, $kg\ kg^{-1}$), $EUN = CMSM/CNM$, conforme Steenbjerg
213 (1963).

214

215 **Análises estatísticas**

216 Foi aplicado o teste de normalidade (teste de Lilliefors) e homogeneidade de variância
217 (testes de Bartlett e Cochran) para atender as pressuposições da análise de variância
218 (ANOVA). Para cada característica avaliada, procedeu-se à análise de variância
219 (ANOVA), com o objetivo de desdobrar a soma de quadrados de tratamentos para cada
220 fator e para a interação entre os fatores. Quando a interação entre os fatores não foi
221 significativa, realizou-se a comparação entre as médias marginais das formas de
222 aplicação de P e análise de regressão para as doses de N. Quando a interação entre os
223 fatores foi significativa, em cada forma de aplicação de P, procedeu-se à análise de
224 regressão para as doses de N; e foi realizada a comparação entre as médias marginais
225 das formas de aplicação de P (n=16). Os modelos foram escolhidos com base no
226 fenômeno biológico, na significância dos coeficientes de regressão (utilizando o nível
227 de até 10 % de probabilidade), pelo teste “t”, e no coeficiente de determinação, sendo
228 calculado pela relação ($R^2 = SQ_{Regressão}/SQ_{Tratamento}$). Por meio do teste F, obteve-
229 se a significância do contraste entre a média dos dois tratamentos adicionais. Exceto a
230 significância dos coeficientes de regressão, todas as análises estatísticas foram
231 realizadas ao nível de significância de 5 % de probabilidade. A dose de N que
232 proporcionou a máxima PG foi obtida igualando-se a primeira derivada da equação da
233 produtividade de grãos (PG) em resposta a dose de N a zero. Para a execução das

234 análises estatísticas utilizou-se o programa estatístico Sistema para Análise Estatística
235 (Saeg, versão 9.1, 2007).

236

237 **RESULTADOS**

238 As formas de aplicação de P influenciaram a PG ($P < 0,05$). Não houve diferença entre o
239 PS e SP, enquanto esses tratamentos diferiram do tratamento a lanço (Tabela 1). A
240 interação entre as formas de aplicação de P e doses de N influenciou a produtividade de
241 grãos PG ($P < 0,05$). As doses de N não influenciaram a PG onde o fósforo foi aplicado a
242 lanço. A média da PG foi $761,52 \text{ kg ha}^{-1}$. O incremento nas doses de N proporcionou
243 acréscimo linear na PG onde o fósforo foi aplicado no sulco de plantio (SP), enquanto
244 no tratamento onde o fósforo foi parcelado no sulco (PS), a PG apresentou
245 comportamento quadrático, com a máxima PG obtida na dose de $67,54 \text{ kg ha}^{-1}$ de N
246 (Figura 2). A máxima PG obtida com a dose de $67,54 \text{ kg ha}^{-1}$ de N foi $955,27 \text{ kg ha}^{-1}$. A
247 relação linear entre a PG e as doses de N indica que com o aumento de uma unidade de
248 N (kg ha^{-1}) houve aumento na PG de $2,11 \text{ kg ha}^{-1}$. O tratamento apenas com inoculação
249 de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. inoculadas nas sementes proporcionou incremento de
250 $24,6 \%$ na PG em relação ao tratamento controle (sem fertilização e bactérias) ($p < 0,01$)
251 (Tabela 1).

252 A interação entre as formas de aplicação de P e doses de N influenciou o conteúdo de N
253 nos grãos CNg ($P < 0,01$). As doses de N não influenciaram o CNg onde o fósforo foi
254 aplicado a lanço. A média da PG foi $23,40 \text{ kg ha}^{-1}$. O incremento nas doses de N
255 proporcionou acréscimo linear no CNg onde o fósforo foi aplicado no SP, enquanto no
256 tratamento que o fósforo foi PS, o CNg apresentou comportamento quadrático crescente
257 e a dose de $69,42 \text{ kg ha}^{-1}$ de N proporcionou o máximo CNg de $31,75 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 3).
258 A relação linear entre o CNg e as doses de N indicam que com o aumento de uma
259 unidade de N (kg ha^{-1}) houve aumento no CNg de $0,09 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Provavelmente,
260 esses resultados estejam aliados à maior eficiência de aproveitamento do adubo
261 nitrogenado aplicado em cobertura.

262 A interação entre as formas de aplicação de P e doses de N influenciou a remobilização
263 de N (RN, $p < 0,01$). As formas de aplicação de P influenciaram a RN ($P < 0,05$). A maior
264 RN foi obtida no tratamento onde o P foi aplicado no SP (Tabela 1). Houve diferença
265 significativa entre o tratamento com inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. nas
266 sementes e o tratamento controle (sem fertilização e bactérias) para a RN ($p < 0,01$)
267 (Tabela 1). O incremento nas doses de N proporcionou acréscimo linear na RN onde o

268 fósforo foi aplicado no SP (Figura 4). A relação linear entre a RN e as doses de N indica
269 que com o aumento de uma unidade de N (kg ha^{-1}) houve aumento na RN de $0,60 \text{ kg ha}^{-1}$
270 ¹. A remobilização de N não foi influenciada pelas doses de N onde o fósforo foi PS
271 (média = $46,46 \text{ kg ha}^{-1}$) e a lanço (média = $48,14 \text{ kg ha}^{-1}$).

272 A interação entre as formas de aplicação de P e doses de N influenciou o índice de
273 colheita de grãos ICg ($P < 0,05$). As formas de aplicação de fósforo não influenciaram o
274 ICg ($p = 0,1263$). As doses de N influenciaram o ICg ($p < 0,0001$), porém o ICg não se
275 ajustou aos modelos matemáticos. As médias do ICg nos tratamentos onde o fósforo foi
276 PS foi $0,29$, a lanço foi $0,28$ e SP foi $0,28$. Não houve diferença significativa entre o
277 tratamento com inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. inoculado nas sementes e
278 o tratamento controle (sem fertilização e bactérias) para o ICg ($p = 0,2720$) (Tabela 1).

279 A interação entre as formas de aplicação de P e doses de N não influenciou o índice
280 Spad ($p = 0,077$). As formas de aplicação de fósforo influenciaram o índice Spad
281 ($p < 0,05$). A média do índice Spad diferiu apenas entre o tratamento onde o P foi
282 aplicado no SP e a lanço, e esses tratamentos não apresentaram diferença significativa
283 com o PS. O tratamento apenas com inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. nas
284 sementes proporcionou incremento de $31,0 \%$ no índice Spad em relação ao tratamento
285 controle (sem fertilização e bactérias) ($p < 0,001$) (Tabela 1). O índice Spad foi
286 influenciado pelas doses de N ($p < 0,0001$). O incremento nas doses de N proporcionou
287 acréscimo linear no índice Spad. A relação linear entre o índice Spad e as doses de N
288 indicam que com o aumento de uma unidade de N (kg ha^{-1}) houve aumento no índice
289 Spad de $0,06$ unidade Spad (Tabela 2).

290 A interação entre as formas de aplicação de P e doses de N não influenciou o ICN
291 ($p = 0,1998$), a ERN ($p = 0,1758$) e a EUN ($p = 0,9548$). As formas de aplicação de fósforo
292 e as doses de N não influenciaram o ICN ($p = 0,1718$ e $p = 0,0752$), a ERN ($p = 0,6303$ e
293 $p = 0,4647$) e a EUN ($p = 0,5015$ e $p = 0,3272$) (Tabela 1 e Tabela 2). As médias da ERN e
294 EUN no tratamento apenas com inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. nas
295 sementes apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento controle (sem
296 fertilização e bactérias). Por outro lado, esses tratamentos não apresentaram diferença
297 significativa para o ICN (Tabela 1).

298 A interação entre as formas de aplicação de P e doses de N não influenciou tanto o teor
299 de N nos grãos TNg ($p = 0,3020$) quanto o teor de PB nos grãos ($p = 0,3020$). As formas
300 de aplicação de P influenciaram o TNg ($p < 0,05$) e o teor de PB ($p = 0,05$). As médias do
301 TNg e o teor de PB apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos que o P

302 foi aplicado PS e a lanço, e esses tratamentos não apresentaram diferença significativa
303 com o SP (Tabela 1). As médias do TNg e o teor de PB no tratamento apenas com
304 inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. nas sementes apresentaram diferença
305 significativa em relação ao tratamento controle (sem fertilização e bactérias) (Tabela 1).
306 As doses de N influenciaram o TNg ($p < 0,05$) e o teor de PB ($p < 0,05$). O incremento nas
307 doses de N proporcionou efeito quadrático crescente no TNg e no teor de PB nos grãos
308 (Tabela 2).

309

310 **DISCUSSÃO**

311 A nossa hipótese foi comprovada pelo fato do aumento da produtividade de grãos com a
312 aplicação do P de forma PS e SP; por outro lado, a nossa hipótese não foi comprovada,
313 pois as formas de aplicação de P não proporcionaram incremento na eficiência do uso
314 do nitrogênio (EUN, kg kg^{-1}) associadas as doses de N da cultura do feijão caupi
315 inoculada com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp.

316 A dose de $67,54 \text{ kg ha}^{-1}$ de N proporcionou a máxima PG de $955,27 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 2).

317 A aplicação localizada tem por finalidade reduzir a superfície de contato entre as
318 partículas do solo e o fertilizante fosfatado (Büll et al., 2004) confirmando os dados
319 obtidos nesse trabalho, já que a forma aplicada no sulco de plantio proporcionou a
320 maior produtividade. Resultados semelhantes foram relatados por Soares et al. (2006)
321 onde a PG variou de 341 kg ha^{-1} a 952 kg ha^{-1} . Por outro lado, Silva et al. (2011)
322 relataram que a PG do feijão caupi não foi influenciada pela adubação nitrogenada ou
323 inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* (BR 3267 e BR 3262).

324 De acordo com Fageria (1998), teoricamente a eficiência nutricional diminui com os
325 níveis crescentes de um nutriente, caso tenha havido resposta da cultura, em virtude da
326 diminuição relativa da produção com sucessiva adição de nutriente; assim, a melhor
327 eficiência nutricional é aquela determinada sob nível de nutriente adequado em que a
328 produtividade máxima é obtida.

329 Ao avaliar a eficiência na absorção e utilização de N pelas culturas da soja e do feijoeiro
330 e por plantas daninhas, Procópio et al., (2004) observaram maior eficiência das raízes do
331 feijoeiro na absorção de N, possibilita ter ocorrido na testemunha em ter maior
332 aproveitamento da EUN, porém mesmo obtendo essa maior eficiência, não apresentou
333 a melhor produtividade, isso indica que esse nitrogênio provavelmente foi retido nas
334 raízes ou na parte aérea, não sendo aproveitado na fase de enchimento de grãos.

335 Devido aos elevados preços dos adubos nitrogenados, o uso de bactérias fixadoras de N
336 é indispensável para garantia da sustentabilidade dos agroecossistemas, pois, além de
337 apresentar baixo custo econômico traz diversos benefícios, tais como: o aumento da
338 produtividade das culturas, recuperação de áreas degradadas, incremento da fertilidade e
339 matéria orgânica do solo (Maestre et al., 2006; Nascimento et al., 2008). O presente
340 trabalho, a PG no tratamento com sementes inoculadas foi 24,6 % superior ao
341 tratamento controle (sem fertilização e bactérias); isto é relato da importância do uso
342 dessas bactérias para a agricultura sustentável no trópico úmido.

343 As formas de aplicação de P influenciaram a PG, e o tratamento onde o P foi aplicado a
344 lanço proporcionou a menor PG. As formas localizadas de aplicação de P (PS e SP) não
345 apresentaram diferença significativa na PG. Resultado semelhante foi encontrado por
346 Didonet et al. (2005), que verificaram que quanto maior a dose de N no feijoeiro maior
347 é o índice Spad e que esses valores estão correlacionados com o aumento da área foliar,
348 maior massa de grãos secos e aumento no teor de N na folha, embora o tratamento com
349 bactérias não tenha recebido adubação nitrogenada com ureia, sabe-se que as bactérias
350 disponibilizam o N ao feijão caupi (Tabela 1).

351 Soares et al. (2006) verificaram que o rendimento de grãos foi 341 kg ha⁻¹ obtido no
352 tratamento sem fertilização e sem inoculação de bactérias e 952 kg ha⁻¹ obtido no
353 tratamento com N e sem inoculação de bactérias. No presente trabalho, a PG no
354 tratamento controle foi aproximadamente o dobro do tratamento controle obtida por
355 esse último autor. Ainda, a PG no tratamento onde esses autores utilizaram apenas N foi
356 semelhante a PG obtida no tratamento apenas com inoculação de estirpes de
357 *Bradyrhizobium* (836,41 kg ha⁻¹).

358 Silva et al. (2011) observaram que a produtividade de feijão-caupi não foi influenciada
359 pela adubação nitrogenada mineral ou inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* (BR
360 3267 e BR 3262), de modo geral, a FBN executada pelos rizóbios em associação com
361 leguminosas agronomicamente importantes pode proporcionar aumento de 20 % a 35 %
362 na produtividade vegetal (FIGUEIREDO et al., 2016). Os nossos resultados estão
363 semelhantes ao encontrado por esses autores, onde utilizamos apenas as estirpes de
364 *Bradyrhizobium*, a PG foi 24,6% superior ao tratamento controle. Esse resultado foi
365 superior a média nacional que é de aproximadamente 500 kg ha⁻¹. No presente trabalho
366 todas as variáveis estudadas que tiveram o uso de bactérias, mostra-se como uma
367 técnica economicamente viável para a substituição de adubação nitrogenada sintética na

368 cultura do feijão caupi no estado do Maranhão (Tabela 1), tendo em vista que novas
369 variedades e novas estirpes também devem ser estudadas.

370 Os dados desse trabalho corroboram com os encontrados por Silva et al. (2010) onde o
371 efeito favorável da aplicação de P foi encontrado em Latosso Amarelo. De modo geral a
372 dose de 80 kg ha¹ de P₂O₅ foi suficiente para obter a maior produtividade de grãos
373 independentemente da dose de N avaliada. No entanto, a máxima PG foi alcançada na
374 dose ótima de 67,54 kg ha¹ de N (Figura 2) e 80 kg ha¹ de P₂O₅, na forma de
375 superfosfato simples.

376 Essa divergência de respostas pode estar relacionada além do aumento da dose de P₂O₅,
377 quanto à disponibilidade de nutrientes presentes nos solos, e também a eficiência
378 simbiótica das estirpes de inoculante utilizados no cultivo do feijão-caupi. No momento
379 em que se aumentaram as doses de N houve uma queda em relação à produtividade de
380 grãos, pois doses elevadas de N provavelmente influenciaram negativamente a produção
381 de grãos pelo estímulo ao desenvolvimento vegetativo da cultura em detrimento à
382 produção de grãos (Gomes Junior; Sá, 2010) (Figura 2).

383 De acordo com Arf et al. (1999), a absorção de nitrogênio ocorre praticamente em todo
384 o ciclo do feijoeiro, mas a época de maior exigência, ocorre entre 35-50 DAE das
385 plantas, época em que ocorre a máxima velocidade de absorção, o que explicaria o
386 considerável efeito sobre o CNg. Por outro lado, em plantas inoculadas com bactérias
387 fixadoras de N, elevados valores de massa seca da planta (MSP) e de CNg acumulado
388 têm sido relacionados à maior capacidade de fixação de N por rizóbios mais eficientes
389 (Lima et al., 2005; Florentino; Moreira, 2009), assim como indicativos de alta
390 produtividade das culturas (Zilli et al.; 2009; Ferreira et al., 2009). Portanto, o estudo
391 mais aprofundado sobre essas variáveis para a cultura do feijão caupi se faz necessário
392 (Figura 3).

393 Estudos indicam que a obtenção da produção máxima de grãos em leguminosas que se
394 beneficiam da fixação biológica de nitrogênio depende do fornecimento adequado deste
395 nutriente para a parte aérea das plantas durante os períodos vegetativo e reprodutivo
396 (Okogun et al., 2005; Di Ciocco et al. 2008), assim como, da eficiência da
397 remobilização do nitrogênio fixado para as vagens. Nessas plantas, a manutenção da
398 fixação do N e do transporte do N fixado durante o período de formação das vagens
399 pode aumentar a produção de grãos e o teor de N nestes (Campo et al., 2009) (Figura 4).

400 O índice de colheita de grãos (ICg) significa maior eficiência de translocação dos
401 produtos da fotossíntese para as partes de maior interesse econômico da planta (os

402 grãos) e, conseqüentemente, incremento na produtividade de grãos (Fageria, 2014). As
403 médias de ICg encontradas nesse trabalho não diferiram entre si, variando de 0,28 a
404 0,29. A competitividade inter e intraespecífica entre plantas favorecem a produção de
405 colmos e folhas e menos grãos, assim apresentam menor ICg provavelmente o ocorrido
406 nesse trabalho por conta do adensamento das plantas já que essas se encontravam
407 espaçadas de 0,10 m entre plantas. Alguns estudos realizados por (Fageria et al., 2007;
408 Fageria; Santos, 2015) relataram uma correlação positiva entre o ICg e a produtividade
409 de grãos. A seleção para maiores ICg pode ser uma forma eficaz de aumentar a
410 produtividade de grãos. Desta forma, deve-se priorizar o aumento da aquisição de
411 nutrientes pelas plantas, estes devem sempre ser repostos afim de garantir que a planta
412 esteja sempre nutrida. A acumulação de alto nível de N é fundamental para alto ICg, e,
413 portanto, alta produtividade (Fageria et al., 2011). (Fageria; Santos 2008) relataram
414 correlação significativa e positiva de ICg e de ICN com a produtividade de grãos de
415 feijão, esse mesmo autores mencionaram que esses índices variam com os genótipos de
416 feijoeiro e são influenciados pela fertilização nitrogenada. Ao avaliar a associação das
417 frações nitrogenadas nas folhas com a eficiência no uso de N em linhagens de feijoeiro,
418 Lago et al. (2009) verificaram que os teores de nitrogênio foram maiores sem a
419 aplicação de N, enquanto as demais frações de N e do N-total nas folhas e nos grãos
420 foram mais elevadas quando houve fornecimento de N. (Tabela 1).

421 No presente estudo, o modelo linear crescente foi o mais adequado para o ajuste da
422 equação entre as doses de N e o índice Spad (Tabela 2); relação diferente do encontrado
423 por Koetz et al. (2012), onde o melhor ajuste foi no modelo quadrático crescente.

424 Similar ao presente estudo, Mesquita et al. (2011) também utilizaram um modelo linear
425 para ajuste da equação dos teores de enxofre e os valores de Spad.

426 Farinelli e Lemos (2010b) verificaram a influência da adubação nitrogenada em
427 cobertura sobre a qualidade tecnológica dos grãos de feijão e concluíram que a
428 aplicação das doses de N em cobertura proporcionou aumento no teor de proteína bruta.

429 Bordin et al. (2003) obtiveram valor de 24,1 % de proteína bruta com o emprego de 75
430 kg ha⁻¹ de N. O máximo teor de proteína bruta nos grãos variou de 20,62 % a 21,51 %
431 em função das doses de N (Tabela 2). Diversos fatores podem levar ao acúmulo de
432 proteína nas sementes, desde características intrínsecas da cultivar até variações
433 edáficas da área de cultivo, ou fatores ambientais (Lajolo et al., 1996).

434 Estudos mostram que a fixação biológica de nitrogênio contribui para uma alta
435 produção de grãos em leguminosas, para isso depende da translocação adequada do

436 nitrogênio para a parte aérea das plantas durante os períodos vegetativo e reprodutivo
437 (Musinguzi et al., 2010), assim como na melhoria da eficiência da remobilização do
438 nitrogênio fixado para as vagens. Nessas plantas, a manutenção da fixação do nitrogênio
439 e do transporte do nitrogênio fixado durante o período de formação das vagens pode
440 aumentar a produção de grãos e o teor de nitrogênio nestas variáveis (Campo et al.,
441 2009) embora a EUN não tenha tido efeito significativo neste trabalho (Tabela 2).

442

443 **CONCLUSÃO**

444 As formas de aplicação de fósforo localizadas proporcionam maiores PG para a cultura.
445 As sementes inoculadas apenas com *Bradyrhizobium* sp. proporcionam incremento de
446 24,6 % na produtividade de grãos em relação ao tratamento sem fertilização e bactérias.
447 As doses de N influenciam aplicadas em cobertura positivamente a produtividade de
448 grãos onde o fósforo foi distribuído no sulco de plantio e parcelado no sulco. As doses
449 de N não influenciaram a PG quando o fósforo foi aplicado a lanço.

450 As doses de N aplicadas em cobertura e as formas de aplicação de fósforo não
451 influenciam a EUN, a ERN, o ICg e o ICN. Essas variáveis são influenciadas quando
452 foi utilizado só inoculantes com *Bradyrhizobium* sp. nas sementes em relação ao
453 tratamento sem fertilização e bactérias.

454 Diante disso, a forma de aplicação de fósforo localizada no sulco é a mais viável para
455 recomendar ao produtor, pois além de aumentar a produtividade supre a necessidade da
456 cultura durante todo o ciclo.

457

458 **AGRADECIMENTOS**

459 À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do
460 Maranhão (FAPEMA), pelos recursos financeiros disponibilizados para a execução do
461 projeto, a CAPES pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa ao autor
462 correspondente; a Universidade Estadual do Maranhão, pela oportunidade da realização
463 do curso.

464

465 **REFERENCIAS**

466 Ajeigbe, H. A., Saidou, A. K., Singh, B. B., Hide, O., and Satoshi, T. (2012).
467 “Potentials for cowpea (*Vigna unguiculata*) for dry season grain and fodder
468 production in the Sudan and Sahel zones of West Africa,” in *Innovative Research*
469 *Along the Cowpea Value Chain*, eds O. Boukar, O. Coulibaly, C. A. Fatokun, K.

470 Lopez, M. Tamo [Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture
471 (IITA)], 189–202.

472 Araújo, A.P.; Machado, C.T.T. Fósforo. In: Fernandes, M.F. (ed). *Nutrição Mineral de*
473 *Plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p.252-280.

474 Arf, O. Efeitos de doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura
475 na cultura do feijão. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, Salvador. Resumos.
476 Goiânia: Embrapa, p.790-793, 1999.
477

478 Bisikwa, J., Kawooya, R., Sebuliba, J. M., Dungu, S. P., Biruma, M., and Okello,
479 D. K. Effects of plant density on the performance of local and elite
480 cowpea varieties in Eastern Uganda. *Afr. J. Appl. Agric. Sci. Technol.* 2014; 1: 28–41.

481 Bordin, L.; Farinelli, R.; Penariol, F. G.; Fornasieri Filho, D. Sucessão de cultivo de
482 feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura
483 direta. *Bragantia*, 2003; v. 62, n. 2, p. 235-241.
484

485 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12
486 de 28 mar. 2008. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31
487 mar. 2008. Seção 1, p. 11-14.

488 Braun H, Silva MCC, Fontes PCR, Coelho FS, Cecon PR. Top-dressing nitrogen
489 management decision in potato using the “UFV-80” color chart and SPAD readings. *Af*
490 *J of Agri Res.* 2015;10:3494-3501.

491 Büll, L.T.; Costa, M.C.G.; Novello, A.; Fernandes, D.M.; Villas Bôas, R.L. Doses and
492 forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Scientia Agricola*, 2004; v: 61,
493 n. 5, p. 516-521.

494 Campo, J. R.; R. S.; Hungria, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N
495 accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. *Field Crops Research*,
496 2009; v: 110, n. 3, p. 219-224.
497

498 Ddamulira, G., Santos, C. A. F., Obuo, P., Alanyo, M., and Lwanga, C. K.
499 Grain yield and protein content of Brazilian cowpea genotypes under diverse Ugandan
500 environments. *Am. J. Plant Sci.* 2015; 6: 2074–2084.

501 Di Ciocco, C. et al. Biological fixation of nitrogen and N balance in soybean crops in
502 the pampas region. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2008; v: 6, n. 1, p. 114-
503 119.
504

505 Didonet, A. D.; Braz, A. J. B. P.; Silveira, P. M. da. Adubação nitrogenada de cobertura
506 no feijoeiro irrigado: uso do clorofilômetro. *Bioscience Journal*, Uberlândia, , 2005; v:
507 21, n. 3, p. 103-111.
508

509 Dube, E., Fanadzo, M. Maximizing yield benefits from dual-purpose
510 cowpea. *Food Sec.* 2013; 5: 769–779.

511 Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema**
512 **brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 412p., 2013.
513

514 Fageria, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. Revista
515 Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 1998; v: 2, p.6-16.
516

517 Fageria, N. K.; Santos, A. B. dos. Yield physiology of dry bean. Journal of Plant
518 Nutrition, 2008; v: 31, p.983-1004.
519

520 Fageria, N. K. Yield physiology of rice. Journal of Plant Nutrition, 2007; v:30, p.843-
521 879.
522

523 Fageria, N. K.; Santos, A. B. Yield and yield components of lowland rice genotypes as
524 influenced by nitrogen fertilization. Communications in Soil Science and Plant
525 Analysis, 2015; v:46, p.1723-1735.
526

527 Fageria, N. K.; Santos, A. B.; Coelho, A. M. Growth, yield and yield components of
528 lowland rice as influenced by ammonium sulfate and urea fertilization. Journal of Plant
529 Nutrition, 2011; v:34, p.371-386.
530

531 Fageria, N. Nitrogen management in crop production. New York: CRC Press, 408p,
532 2014.
533

534 Farinelli, R.; Lemos, L. B. Produtividade, eficiência agrônômica, características
535 nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e
536 convencional. Bragantia, 2010; v: 69, n. 1, p. 165-172.
537

538 Ferreira, P. A. A. et al. Inoculação com cepas de rizóbio na cultura do feijoeiro. Ciência
539 Rural, Santa Maria, 2009; v: 39, n. 7, p. 2210-2212.
540

541 Florentino, L. A.; Moreira, F. M. S. Características simbióticas e fenotípicas de
542 *Azorhizobium doebereinae*, microoissimbiote de *Sesbania virgata* Revista Árvore,
543 Viçosa, MG, 2009; v: 33, n. 2, p. 215-226.

544 Gomes Junior, F. G; Sá, M. E. de. Proteína e qualidade de sementes de feijão (*Phaseolus*
545 *vulgaris* L.) em função da adubação nitrogenada em plantio direto. Revista Brasileira de
546 Sementes, 2010; v: 32, nº 1 p. 034-044.

547 Jin, X.; Yang, G.; Tan, C.; Zhao, C. Effects of nitrogen stress on the photosynthetic
548 CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence, and sugar-nitrogen ratio in corn. Scientific
549 Reports, Nature, 2015 v: 5, p.1-9.

550 Koetz, M.; Carvalho, K. S.; Silva, E. M. B.; Rezende, C. G.; Silva, J. C. Rúcula
551 submetida a doses de fósforo em latossolo vermelho do cerrado. Enciclopédia Biosfera,
552 2012; v: 8, n. 15, p. 1554-1562.
553

554 Lago, F. J. do; Furtini Neto, A. E.; Furtini, I. V.; Ramalho, M. A. P.; Horta, I. de M. F.
555 Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus*
556 *vulgaris* L.). Ciência e Agrotecnologia, 2009; v: 33, p.440-447.
557

558 Lajolo, F.M.; Genovese, M.I.; Menezes, E.W. Qualidade nutricional. In: Araújo, R.S.;
559 Rava, C.A.; Stone, L.F.; Zimmermann, M.J.O. (Coord.). Cultura do feijoeiro comum no
560 Brasil. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996; v.
561 18, p.23-56

562

563 Lima, A. S.; Pereira, J. P. A. R.; Moreira, F. M. S. Diversidade fenotípica e eficiência
564 simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. de solos da Amazônia. Pesquisa
565 Agropecuária Brasileira, Brasília, 2005 v: 40, n. 11, p. 1095-1104.

566

567 Maestre, F. T.; Martin, N.; Diez, B.; Lopez-Poma, R.; Santos, F.; Luque, I.; Cortina, J.
568 Watering, fertilization, and slurry inoculation promote recovery of biological crust
569 function in degraded soils. Microbial Ecology, New York, 2006; v: 52, n. 3, p. 365-377.

570

571 Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. (2 ed.). Academic Press. 1995. 889p.

572

573 Mesquita, M. A. M.; Silveira, P. M.; Bernardes, T. G.; Gonzaga, A. C. O. Relação do
574 teor de clorofila em feijoeiro irrigado com variáveis de solo e de folha. In: Congresso
575 nacional de pesquisa de feijão, 10., 2011, Goiânia. Anais... Goiânia: Embrapa Arroz e
576 Feijão, 2011.

577

578 Musinguzi, P.; Tenywa, J. S.; Bekunda, M. A. Strategic nutrient management of field
579 pea in southwestern Uganda. African Journal of Food Agriculture, Nutrition and
580 Development, v. 10, n. 6, p. 2695-2706, 2010 na cultura do feijão. In: Reunião Nacional
581 de Pesquisa de Feijão, Salvador. Resumos. Goiânia: Embrapa, p.790-793, 1999.

582

583 Nascimento, C. S.; Lira Júnior, M. A.; Stamford, N. P.; Freire, M. B. G. S.; Sousa, C. A.
584 Nodulação e produção do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) sob efeito de plantas de
585 cobertura e inoculação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2008; v. 2, n. 2,
586 p. 579-587.

587

588 Okogun, J. A. et al. On-farm evaluation of bio-logical nitrogen fixation potential and
589 grain yield of Lablab and two soybean varieties in the northern Guinea savanna of
590 Nigeria. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2005; v. 73, n. 2-3, p. 267-275.

591

592 Procópio, S. O.; Santos, J. B.; Pires, F. R.; Silva, A. A.; Mendonça, E. S. Absorção e
593 utilização do nitrogênio pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. Planta
594 Daninha, v.22, p.365-374, 2004.

595

596 Rajj, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

597

598 Saeg- Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV
599 – Viçosa, MG, 2007.

600

601 Silva, A. J.; Uchôa, S. C. P.; Alves, J. M. A.; Lima, A. C. S.; Santos, C. S. D.; Oliveira,
602 J. M. F.; Melo, V. F. Resposta do feijão caupi- a doses e formas de fosforo em Latosso
603 Amarelo do Estado de Roraima. Acta Amazônica, Manaus, 2010; v: 40, n. 1, p. 31-36.

604 Silva, R. T. L.; Andrade, D. P.; Melo, É. C.; Palheta, E. C. V.; Gomes, M. A. F.
605 Inoculação e adubação nitrogenada na cultura do feijão-caupi em Latossolos da
606 Amazônia oriental. Revista Caatinga, Mossoró, 2011; v: 24, n. 4, p. 152-156.

607

608 Silva, V. N.; Silva, L. E. S. F.; Figueiredo, V. B. Atuação de rizóbio com rizobactéria
609 promotora de crescimento em plantas na cultura do caupi (*Vigna unguiculata* [L.]
610 Walp.). Acta Scientiarum Agronomy, 2006; v. 28, n. 03, p. 407-412.

611

612 Soares, A. L. L.; Pereira, J. P. A. R.; Ferreira, P. A. A.; Vale H. M. M.; Lima, A. S.;

613 Andrade, M. J. B.; Moreira, F. M. S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e

614 diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I – Caupi. Revista

615 Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2006; v: 30, n. 5, p. 795-802.

616

617 Steenbjerg JST (1963) Plant nutrition and yield curves. Soil Sci 95:69–90

618

619 Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. Análise de

620 solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

621 Zebarth, B.J.; Drury, C.F.; Tremblay, N.; Cambouris, A.N. Opportunities for improved

622 fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review.

623 Canadian Journal of Soil Science, 2009; v:89, n.2, p.113-132.

624 Zilli, J. E. et al. Contribuição de estirpes de rizóbio para o desenvolvimento e

625 produtividade de grãos de feijão-caupi em Roraima. Acta Amazonica, Manaus, 2009;

626 v: 39, n. 4, p. 749-758.

627

Tabela 1. Valores médios das variáveis avaliadas Índice spad, produtividade de grãos (PG), teor de N nos grãos (TNg), conteúdo de N no grão (CNg), proteína bruta (PB), índice de colheita de N (ICN), índice de colheita de grão (ICg), Remobilização de N (RN), eficiência do uso do N (EUN) afetadas pelas formas de aplicação de P₂O₅ e a comparação entre os dois tratamentos adicionais, o controle (sem fertilização e bactéria) e so inoculante de *Bradyrhizobium* nas sementes (IBS).

Variáveis	Média (n=4)		p- valor	Formas de aplicação de P ₂ O ₅			p- valor
	Controle	IBS		PS	Laço	SP	
Índice Spad	42,87	56,16	<0,001	51,91 ab	50,82 b	53,93 a	<0,05
PG (kg ha ⁻¹)	671,33	836,41	<0,001	829,16 a	761,51 b	838,36 a	<0,05
TNg (g kg ⁻¹)	22,49	32,37	<0,001	34,42 a	32,88 b	34,16 ab	<0,05
CNg (kg ha ⁻¹)	13,97	25,36	<0,001	26,76 a	23,40 b	26,80 a	<0,01
PB	14,06	20,23	<0,001	21,51 a	20,55 b	21,35 ab	<0,05
ICN	0,58	0,56	0,5211	0,56 a	0,52 a	0,56 a	0,1718
ICg	0,31	0,29	0,2720	0,29 a	0,27 a	0,27 a	0,1263
RN (kg ha ⁻¹)	13,24	45,44	<0,01	46,46 b	48,14 b	62,05 a	<0,05
ERN (%)	55,90	69,47	<0,05	67,59 a	67,57 a	70,39 a	0,6303
EUN (kg kg ⁻¹)	85,37	60,55	<0,001	56,06 a	57,03 a	58,69 a	0,5015

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Os tratamentos adicionais foram comparados pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Equações ajustadas para o índice Spad, proteína bruta (PB, %), teor de N nos grãos (TNg, g kg⁻¹), índice de colheita do N (ICN), eficiência do uso do nitrogênio (EUN, kg kg⁻¹) e eficiência de remobilização do nitrogênio (ERN, %) em função das doses de nitrogênio, São Luís 2017.

Variáveis	Equações ajustadas	r ² /R ²
Spad	$\hat{Y}=49,3133+0,0582*N$	0,96
PB	$\hat{Y}=20,4949+0,0267*N-0,00015^{\circ}N^2$	0,89
TNg	$\hat{Y}=32,7918+0,0427*N-0,00021^{\circ}N^2$	0,89
ICN	$\hat{Y}=0,55$	-
EUN	$\hat{Y}=57,26$	-
ERN	$\hat{Y}=68,52$	-

*e °: significativo ao nível de 5% e 10% de probabilidade.

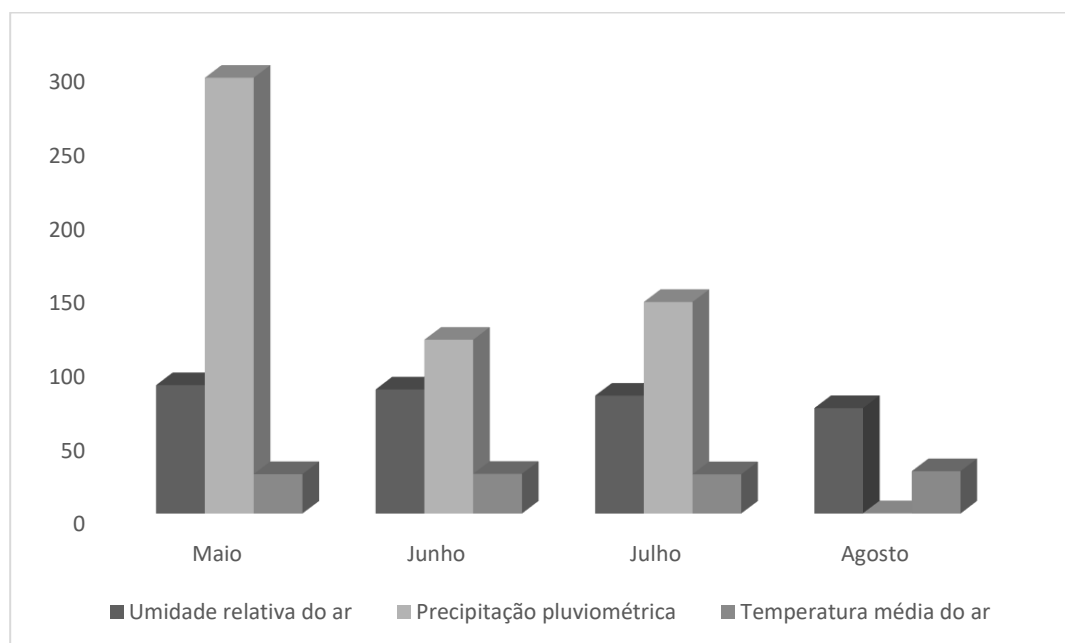


Figura 1. Dados meteorológicos referentes a umidade relativa, precipitação pluvial e temperatura média em São Luís-MA no período de maio a agosto de 2017.

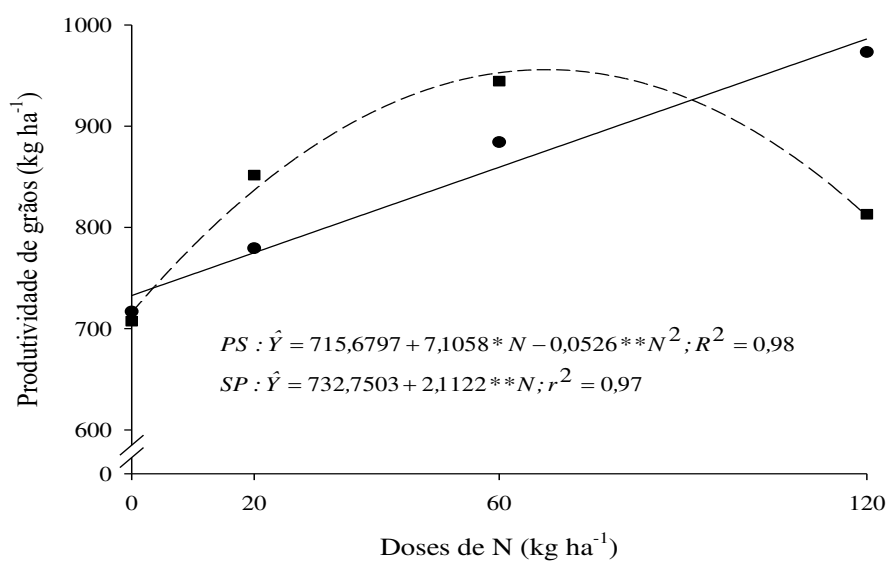


Figura 2. Produtividade de grãos em função de doses de N, na cultura do feijão caupi, em nas formas de aplicação parcelada no sulco (PS) e sulco de plantio (SP), São Luís – MA 2017.

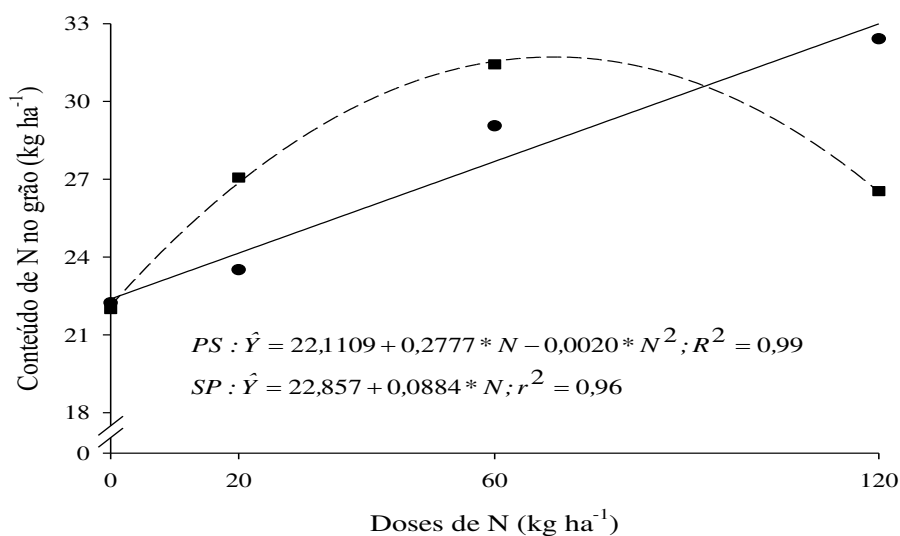


Figura 3. Conteúdo de N no grão em função de doses de N, na cultura do feijão caupi, na forma parcelada no sulco (PS) e no sulco de plantio (SP) São Luís – MA 2017

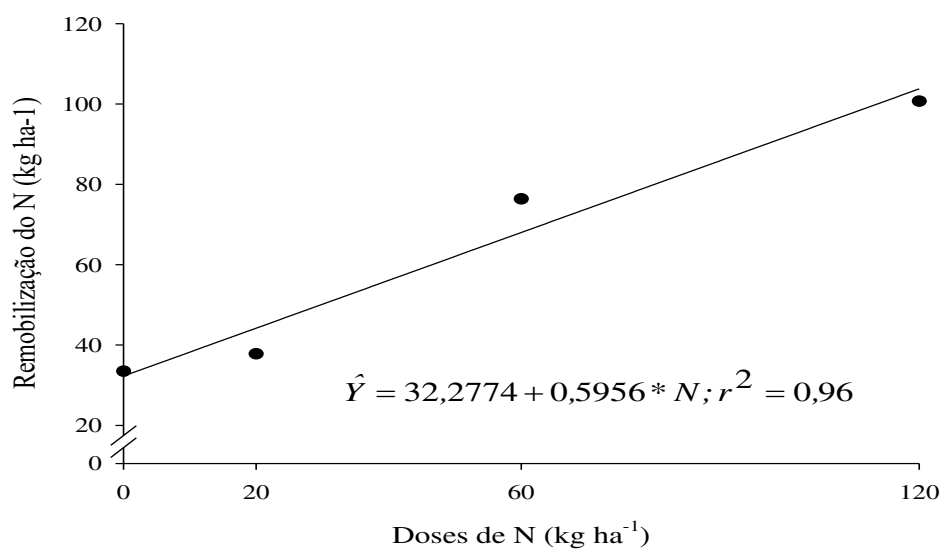


Figura 4. Remobilização de N em função de doses de N, na cultura do feijão caupi na forma de aplicação no sulco de plantio, São Luís – MA 2017.

ANEXO

Preparo do manuscrito

O manuscrito deve ser digitado com fonte “Times New Roman 12” no espaço 1,5, alinhado à esquerda (não justificar com alinhamento à esquerda e à direita), com página em tamanho A4, com 2,5 cm nas margens superior e inferior e 2,0 cm nas margens direita e esquerda. As páginas devem ser numeradas no canto inferior à direita e as linhas do texto devem ser numeradas de forma contínua. O título de cada seção deve ser escrito em letras maiúsculas, em negrito. Subdivisões devem ter apenas a primeira letra maiúscula, com destaque em negrito.

O manuscrito deve ser estruturado com as seções: Resumo, *Abstract* (obrigatórios), Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão ou (preferencialmente) Resultado, Discussão, Conclusões, Agradecimentos (opcional) e Referências. Essa estrutura não se aplica, obrigatoriamente, aos manuscritos sobre Educação, Revisões de Literatura e Notas Científicas, embora estes devam conter, obrigatoriamente, o Resumo e o *Abstract*. O manuscrito submetido em inglês deve conter Resumo em português e aquele submetido em português deve conter o *Abstract* em inglês.

O manuscrito deve conter uma página de rosto com o título, nomes dos autores por extenso com a indicação da formação profissional, o vínculo profissional e o endereço eletrônico. O autor correspondente deverá ser marcado por um asterisco e o número de telefone para contato deve ser indicado. Devem-se incluir ainda chamadas que serão vinculadas ao título do manuscrito. A primeira página do manuscrito deve conter o título seguido imediatamente do texto de acordo com as seções.

Seções dos manuscritos

Título: Deve ser conciso e indicar o seu conteúdo, contendo no máximo 20 palavras escritas em letras maiúsculas e alinhado à esquerda (não justificar com alinhamento à esquerda e à direita).

Resumo/Abstract: Para artigos científicos e revisões de literatura, cada um deve conter até 400 palavras e, para notas científicas, até 150 palavras. Todos os resumos e *abstracts* devem iniciar com uma breve frase que justifique o trabalho. Para artigos e notas científicas, deve-se apresentar de forma objetiva o material e método e os resultados mais importantes e conclusões. Não se devem incluir citações bibliográficas e símbolos ou siglas que requeiram a leitura do texto para sua decodificação.

Palavras-chave/Keywords: Usar no mínimo três e no máximo cinco termos diferentes daqueles constantes no título. Não utilizar termos compostos por mais de três palavras.

Introdução: Deve ser breve, mas suficiente para esclarecer o problema abordado ou a(s) hipótese(s) de trabalho, com citação da bibliografia específica e atualizada, e finalizar com a indicação do objetivo.

Material e Métodos: Deve conter informações necessárias e suficientes para percepção dos resultados e que possibilitem a repetição do trabalho por outros pesquisadores. Deve conter informações sobre o(s) método(s) utilizados, o delineamento experimental, os tratamentos, números de repetições, unidades experimentais (número e tamanho) e os métodos estatísticos utilizados.

Resultados e Discussão: Deve conter uma apresentação concisa dos dados obtidos e podem ser apresentados conjuntamente ou, preferencialmente, em separado. Se apresentados em separado, a Discussão não deve conter repetição da descrição dos resultados.

Conclusões: Devem ser concisas e coerentes com os objetivos e com os dados apresentados no trabalho.

Agradecimentos: Opcionais. Devem ser sucintos e localizados após as conclusões. Incluem-se nesta seção as indicações de suporte financeiro ao projeto de pesquisa do qual originou o trabalho.

Quadros: Devem ser numerados sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer acima do quadro e deve conter os elementos que possibilite a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Os quadros devem ser produzidos com a ferramenta "Tabela" do MS Word ou MS Excel, ou *software* equivalentes. Utilizar a fonte Times New Roman com tamanho não maior que 10. As unidades são colocadas no corpo do quadro, na linha acima dos valores numéricos. No corpo do quadro não devem aparecer linhas verticais e horizontais. Os quadros devem ser inseridos no formato editável (illustrator/eps/corel draw/jnb/excel, doc ou docx etc.), após as Referências, com quebra de página. Não serão aceitos manuscritos contendo quadros inseridos como imagem.

Figuras gráficas: Devem ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer abaixo da figura e deve conter os elementos que possibilitem a sua leitura e compreensão sem a leitura do texto. As figuras serão inseridas após os quadros em formato editável (illustrator/eps/coreldraw/jnb/excel, etc.). Não serão aceitos manuscritos contendo figuras gráficas inseridas como imagem.

Figuras fotográficas: Fotografias devem ser apresentadas como arquivo "tagged image format [TIF]" com 500 dpi.

Fórmulas e equações: Devem ser escritas com ferramentas do editor que possibilitem sua editoração. Não serão aceitas fórmulas e equações inseridas como imagem. Equações de regressões devem ser apresentadas com notação estatística ($\hat{y} = \alpha + \beta_1^{**} x + \dots + \beta_n^{**} x$) e não na notação matemática, usual nos *softwares* ($y = \beta_n x + \dots + \beta_1 x + \dots + \alpha$). A indicação de significância (**) deve ser indicada sobrescrito aos coeficientes. Os coeficientes das equações de regressões devem ter um número adequado de decimais significativas.

Referências: Deve conter relação dos trabalhos citados no texto, quadro(s) ou figura(s) e inserida em ordem alfabética, obedecendo o estilo denominado Vancouver. Seguem modelos para as referências mais frequentes:

a) Periódicos: Nome de todos os autores. Título do artigo. Título abreviado do periódico. Ano de publicação; volume: páginas inicial e final. Exemplo:

Fonseca JA, Meurer EJ. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. R. Bras Ci Solo. 1997;21:47-50.

Rodrigues DT, Novais RF, Alvarez V VH, Dias JMM, Villani EMA, Otoni WC. *In vitro* germination of *Cattleya intermedia* R. Graham by means of chemical disinfection and without laminar flow. Prop Ornament Plants. 2011;11:19-24.

Artigos com DOI:

Zirlewagen D, Raben G, Weise M. Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and vegetation parameters. For Ecol Manage. 2007;248:43-55. doi:10.1016/j.foreco.2007.02.038

A abreviatura dos periódicos pode ser verificada nos endereços: http://www.efm.leeds.ac.uk/~mark/ISlabbr/C_abrvjt.html, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog/journals>

b) Livro: Autores. Título da publicação. Número da edição. Local da publicação: Editora; ano de publicação. Exemplo:

Konhnke H. Soil physics. 2nd ed. New York: MacGraw Hill; 1969.

c) Participação em obra coletiva: Autor(es). Título da parte referenciada seguida de In: Nome(s) do(s) editor(es), editores. Título da publicação. Número da edição. Local de publicação: Editora; ano. Páginas inicial e final. Exemplos:

Jackson ML. Chemical composition of soil. In: Bear FE, editor. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York: Reinhold; 1964. p.71-141.

Sharpley AN, Rekolainen S. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Tunney H, Carton OT, Brookes PC, Johnston AE, editors. Phosphorus loss from soil to water. New York, CAB International; 1997. p.1-53.

d) Publicação em Anais: Autor(es). Título do trabalho. In: Tipo de publicação, número e título do evento [CD-ROM, quando publicado em]; data do evento (dia mês ano); cidade e país de realização do evento. Cidade (da Editora): Editora ou Instituição responsável pela publicação; ano de edição (nem sempre é o mesmo do evento). Paginação do trabalho ou do resumo. Exemplos:

Ferreira DF. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: Anais da 45ª. Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria; julho 2000; São Carlos. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2000. p.255-8.

Gomes SLR. Novos modos de conhecer: os recursos da internet para uso das bibliotecas universitárias. In: Anais do 10º. Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias [CD-ROM]; 25-30 out 1998. Fortaleza. Fortaleza: Tec Treina; 1998.

e) Citação de fonte eletrônica:

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Assessoria de Gestão Estratégica. Projeção do agronegócio 2009/2010 a 2019/2020 [internet]. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2011 [acesso em 10 nov 2010]. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/MAIS%20DESTAQUES/Projete%20Agronegocio%202009-2010a%202019-020.pdf.

f) Dissertações e teses: Autor. Título da tese (inclui subtítulo se houver) [grau]. Cidade: Instituição onde foi defendida; ano.

Silveira AO. Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2007.

Vieira FCB. Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e adubação nitrogenada [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2007.

g) Boletim técnico

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2a ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim técnico, 5).

h) Citação de citação

Citação de citação deve ser utilizada em situações estritamente necessárias. Neste caso, citar no texto o sobrenome do autor do documento não consultado com o ano da publicação, seguido da expressão citado por seguida do sobrenome do autor do documento consultado e do ano da publicação (Abreu, 1940, citado por Neves, 2012). Nas Referências, deve-se incluir apenas a fonte consultada.

i) Comunicação pessoal

Deve ser colocada apenas em nota de rodapé. Inclui-se o nome do informante, a data que a informação foi dada, nome, estado e país da Instituição de vínculo do informante seguido pela expressão: comunicação pessoal. Por exemplo: Comunicação pessoal Joaquim da Silva, em 22 de janeiro de 2011, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil - recebida por correio eletrônico.

Citações das referências

As Referências no texto devem ser citadas em ordem cronológica e nos seguintes formatos:

- a) Um autor: (Autor, ano) ou Autor (ano), como (Silva, 1975) ou Silva (1975);
- b) Dois autores: (Autor e Autor, ano) ou Autor e Autor (ano), como: (Silva e

Smith, 1975) ou Silva e Smith (1975);

c) Quando houver mais de dois autores, usar a forma reduzida (Autor et al., ano) ou Autor et al. (ano), como (Souza et al., 1975) ou Souza et al. (1975);

d) Referências a dois ou mais artigos do(s) mesmo(s) autor(es), no mesmo ano, serão discriminadas com letras minúsculas (Ex.: Silva, 1975a,b).

Informações complementares

A RBCS utiliza o Sistema Internacional de Unidades. Seguem alguns exemplos de apresentação de valores numéricos que a RBCS adota. Considerar como padrão da RBCS o formato à direita: 72 horas = 72 h; 5 minutos = 5 min; 3 segundos = 3 s; 10 l (litros) = 10 L; 20 ml = 20 mL; 3 toneladas = 3 t ou Mg; 25°C = 25 °C; 3 m × 3 m = 3 × 3 m; 5% = 5 %; 4%, 6% e 12% = 4, 6 e 12 %; 5 m e 16 m = 5 e 16 m; 1 M HCl = 1 mol L⁻¹ ou mol/L de HCl (as duas formas são aceitas, porém solicita-se que estejam padronizadas no texto e quadros/figuras); 1 mM NaOH = 1 mmol/L ou mmol L⁻¹; grama por vaso = g/vaso; grama por planta = g/planta; plantas por frasco = plantas/frasco; tonelada por hectare por ano = t ha⁻¹ ano⁻¹. Concentrações apresentadas em Normalidade (N) devem ser convertidas para o equivalente em mol/L ou mol L⁻¹.

A revista reserva-se o direito de efetuar, nos originais, alterações de ordem normativa, ortográfica e gramatical, com vistas a manter o padrão culto da língua, respeitando, porém, o estilo dos autores. As provas finais serão enviadas aos autores.

Sugere-se que os autores consultem artigos recentes publicados na RBCS para esclarecimento de dúvidas quanto à formatação do manuscrito.