

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

**FEIJÃO CAUPI INOCULADO COM RIZÓBIO E CULTIVADO EM SOLO
COM E SEM COMPACTAÇÃO**

NÚBIA LEITE DA SILVA

RONDONÓPOLIS–MT

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

**FEIJÃO CAUPI INOCULADO COM RIZÓBIO E CULTIVADO EM SOLO
COM E SEM COMPACTAÇÃO**

NÚBIA LEITE DA SILVA

Engenheira Agrícola e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Salomão Lima Guimarães

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do
Instituto de Ciências Agrárias e
Tecnológicas da Universidade Federal de
Mato Grosso, para obtenção do título de
Mestre.**

RONDONÓPOLIS-MT

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

L533f Leite da Silva, Núbia.
Feijão caupi inoculado com rizóbio e cultivado em solo com e sem compactação /
Núbia Leite da Silva. -- 2015
79 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Salomão Lima Guimarães.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, Rondonópolis, 2015.
Inclui bibliografia.

1. Fixação biológica de nitrogênio. 2. Cerrado. 3. compactação do solo. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

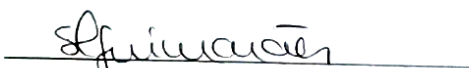
Título: Feijão caupi inoculado com rizóbio e cultivado em solo com e sem compactação

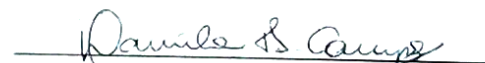
Autor: Núbia Leite da Silva

Orientador: Prof. Dr. Salomão Lima Guimarães

Rondonópolis, 16 de dezembro de 2015.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Salomão Lima Guimarães
ICAT/UFMT (Orientador)


Profª. Drª. Daniela Tiago da Silva Campos
FAMEVZ/UFMT


Dr. Helon Hébano de Freitas Souza
CAPES/PNPD

OFEREÇO

*A minha família em especial a minha irmã Sueli Leite e ao meu namorado
Guilherme Garcia Gardini.*

A Deus, pelas oportunidades que tem me proporcionado.

Aos meus pais, Dorvani da Silva Luiz da Fonseca e Antonio Ronaldo Leite da Fonseca (in memorian).

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, que abençoou os meus passos, me deu sabedoria e inteligência para conduzir o mestrado.

À minha mãe: Dorvani da Silva Luiz da Fonseca por acreditar e sempre apoiar minhas decisões.

Ao Guilherme Garcia Gardini pela atenção, pela ajuda e pelo amor e compreensão.

Ao meu orientador Professor Dr. Salomão Lima Guimarães pela paciência e pelos conhecimentos transmitidos ao longo de dois anos.

A toda minha família por acreditar e motivar os meus sonhos.

A todos os professores do mestrado pelo conhecimento e atenção que foi oferecida a toda turma.

Aos professores Tonny José Araújo da Silva, Edna Maria Bonfim da Silva e Jofran Luis de Oliveira pelo apoio e disponibilização de matérias para a condução e análises do experimento.

Aos meus amigos Andressa Dalla, Antônio Tássio Ormont, Danityelle Chaves de Freitas, Hamilton Abraham Weimar Castro, Milly Cardinal, Nerisa Arthman, Michele Strada, Juliana Sasso, Vanessa Mendes Rêgo, Willian Lima Crisostomo, pela ajuda e pela amizade.

Aos funcionários do laboratório de solos, pela paciência e pela ajuda na execução dos trabalhos.

A todos os colegas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

FEIJÃO CAUPI INOCULADO COM RIZÓBIO E CULTIVADO EM SOLO COM E SEM COMPACTAÇÃO

Resumo: O feijão caupi é considerado uma das espécies mais importantes no país, por possuir componentes essenciais à alimentação e características relevantes para o seu cultivo, como por exemplo, a capacidade de simbiose com bactérias diazotróficas. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação associado à compactação do solo no crescimento, desenvolvimento e produção de feijão caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis. Os tratamentos dispostos em fatorial 3 x 2 corresponderam à estirpe BR3267 (recomendada para o feijão caupi) e a combinação das estirpes MT8 e MT15, (isoladas de plantas iscas de feijão caupi) e um controle (adubação nitrogenada-150 mg dm³) em solo sem compactação e compactado (1,60 Kg dm⁻³). A compactação foi realizada utilizando uma prensa hidráulica, aplicada no solo do anel central de uma coluna formada pela sobreposição de três anéis de PVC de 150 mm de diâmetro. Cada tratamento consistiu de seis repetições, perfazendo um total de 36 parcelas experimentais. As variáveis analisadas foram altura da planta, diâmetro de caule, índice de clorofila, relação massa seca da parte aérea/ massa seca de raiz, número de vagens, de grãos por vagem e número de nódulos, comprimento de vagem, número de grãos, massa seca de grãos, da parte aérea, raiz e nódulos, concentração de nitrogênio na parte aérea e nos grãos e proteína bruta da parte aérea e grãos. Os resultados demonstraram que a compactação não interferiu na altura de planta, diâmetro de caule, comprimento de vagem, número de grãos por vagem e concentração da parte aérea e grãos. Entretanto as variáveis: número de vagens e nódulos, massa seca de grãos, parte aérea, raiz e nódulos sofreram influência quando submetida à densidade de 1,60 Kg dm⁻³. O feijão caupi inoculado com estirpes de rizóbio apresentou melhor desenvolvimento em solo não compactado.

Palavras-chave: Fixação biológica de nitrogênio, Cerrado, compactação do solo.

COWPEA INOCULATED WITH RHIZOBIUM AND GROWN IN SOIL WITH AND WITHOUT COMPRESSION

ABSTRACT – The cowpea is being considered one of the most important specie in the country, because it has components essential to food and outstanding features for its cultivation, for example, symbiosis capacity with diazotrophs. This study aimed to evaluate the effect of inoculation associated with soil compaction on growth, development and production of copra. The experiment was conducted in a greenhouse at the University of Mato Grosso, Rondonópolis. The treatments arranged in a factorial 3 x 2 corresponded to the BR3267 strain (recommended for cowpea) and the combination of strains MT8 and MT15 (isolated from cowpea lures plants) and a control (nitrogen-150 fertilizer mg dm³) in soil uncompressed and compressed (1.60 kg cm⁻³). The compression was performed using a hydraulic press, applied to the soil of the central region of a column formed by overlapping three PVC pipe 150 mm in diameter. The Each treatment consisted of six repetitions, for a total of 36 experimental plots. The variables analyzed were planted height, stem diameter, chlorophyll index, the dry mass of shoot / root dry weight, number of pods, beans per pod and number of nodes, pod length, number of grains, pasta dry beans, the shoots, roots and nodules and nitrogen concentration in the aerial part and grains and crude protein of shoots and grain. The results showed that compression did not affect the plant height, stem diameter, pod length, number of seeds per pod and concentration of the shoot and grain. However variables: number of pods and nodules, dry mass of grains, shoots, roots and nodules were influenced when subjected to the density of 1.60 kg dm⁻³. The coupe inoculated with rhizobia strains showed better development in non-compacted soil.

Keywords: Biological nitrogen fixation, Cerrado, soil compression.

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 Dimensionamento da parcela experimental composta por três anéis de PVC cortados com altura de 0,1 m e com um diâmetro externo de 0,15 m.....	28
Figura 2 Compactação dos anéis centrais utilizando a prensa hidráulica P15 ST 15 Ton.....	30
Figura 3 Semeadura realizada após a montagem das parcelas experimentais.....	31
Figura 4 Adição de meio líquido contendo as estirpes MT8+MT15 e BR3276 nas parcelas experimentais 7 dias após a semeadura.....	32
Figura 5 Vista Geral do ensaio para determinação do número de rizóbio no solo.....	33
Figura 6 Inoculação nas plântulas de feijão caupi com a solução contendo solo utilizado no experimento da compactação nas diluições 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} e 10^{-7}	34
Figura 7 Análise visual das raízes de plantas-iscas de feijão caupi para verificar a presença ou ausência de nódulos após 25 dias da semeadura.....	34
Figura 8 Altura das plantas de feijão caupi inoculadas com rizóbio em solo com e sem compactação.....	35
Figura 9 Índice de clorofila Falker em plantas de feijão caupi inoculado com rizóbio e cultivado em solo com e sem compactação aos 35, 45, 52 e 58 dias após a semeadura.....	35
Figura 10 Especificação da camada A (0-10 cm), camada B (10-20 cm) e camada C (20-30 cm) presente em todas parcelas	36

	experimentais.....	
Figura 11	Verificação do desenvolvimento do Feijão caupi aos 90 dias após a semeadura.....	37
Figura 12	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número de vagens do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	45
Figura 13	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no comprimento de vagens do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	46
Figura 14	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca de grãos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	49
Figura 15	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número de grãos por vagem do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	56
Figura 16	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número total de grãos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	57
Figura 17	Determinação da população de rizóbio no solo utilizado para o experimento de inoculação em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	62
Figura 18	Análise visual de nódulos em todas as diluições (10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4}).....	63
Figura 19	Observação visual da presença de leghemoglobina na diluição de 10^{-4}	64
Figura 20	Observação visual da presença de leghemoglobina na diluição de 10^{-7}	64

LISTA DE TABELAS

		Páginas
Tabela 01	Caracterização química e granulométrica da camada 0-0,20m do Latossolo Vermelho (Rondonópolis MT 2015)	27
Tabela 02	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na altura de planta em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	39
Tabela 03	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no diâmetro de caule em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	41
Tabela 04	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no índice de clorofila Falker do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	42
Tabela 05	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número de nódulos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	47
Tabela 06	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca de raiz do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	50
Tabela 07	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na razão massa seca da parte aérea/massa seca de raiz do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	52
Tabela 08	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca de raiz do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	54
Tabela 09	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca de grãos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	58

Tabela 10	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na concentração de nitrogênio nos grãos de feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	59
Tabela 11	Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na proteína bruta na parte aérea e nos grãos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.....	61

SUMÁRIO

Páginas

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	A cultura do Feijão.....	17
2.1.1	Caracteres agronômicos da cultura do feijão caupi.....	18
2.1.2	Feijão caupi cultivado na região Centro-Oeste brasileira.....	19
2.2	Compactação do solo.....	20
2.2.1	Efeitos da compactação nas plantas.....	22
2.3	Nitrogênio.....	23
2.3.1	Fixação biológica de nitrogênio.....	25
3	MATERIAL DE MÉTODOS.....	27
3.1	Implantação e condução do experimento.....	28
3.3	Manutenção da umidade.....	31
3.4	Crescimento e inoculação das estirpes de rizóbios.....	31
3.5	Controle fitossanitário.....	32
3.6	Determinação da população de rizóbio no solo.....	32
3.7	Variáveis avaliadas.....	35
3.8	Análises estatística.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1	Altura de planta.....	39
4.2	Diâmetro de caule.....	41
4.3	Índice de clorofila Falker.....	42
4.4	Número e comprimento de vagem.....	44

4.5	Número de nódulos.....	46
4.6	Massa seca da parte aérea.....	48
4.7	Massa seca de raiz.....	50
4.8	Relação entre massa seca da parte aérea/massa seca de raiz.	52
4.9	Massa seca de nódulos.....	53
4.10	Número de grãos por vagem e número total de grãos.....	55
4.11	Massa seca de grãos.....	58
4.12	Concentração de nitrogênio na parte aérea e grãos.....	59
4.13	Determinação da população de rizóbio no solo.....	62
5	Conclusão.....	65
6	Referências.....	66

1. INTRODUÇÃO

O feijão caupi é uma espécie muito utilizada como opção de cultivo na segunda safra em função da sua rusticidade e do valor proteico de seus grãos. Devido a essas características, torna-se essencial conhecer os fatores que interferem na adaptação e na capacidade de produção dessa cultura.

Dentre várias condições que podem afetar as plantas, destaca-se o aumento da densidade do solo, o qual é provocado principalmente pelo uso intensivo de máquinas agrícolas (GOMES et al., 2005).

Decorrente a essa alteração, a absorção de nutrientes sofre modificações, tornando-se mais difícil adquirir a quantidade ideal para o desenvolvimento adequado das plantas, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes fica prejudicado (BONFIM-SILVA et al., 2011).

Além disso, existe o problema com o déficit hídrico citados pelos autores Moraes et al. (1995), Rosolem et al. (1994) e Camargo e Alleoni, (1997) que pode ocorrer devido a redução do espaço poroso causado pelo rearranjo das partículas, promovendo uma massa coesa na matriz do solo, resultando na menor infiltração de água pela superfície.

Em função dessas complicações, uma alternativa viável seria a utilização de micro-organismos do solo, principalmente os fixadores de nitrogênio, para analisar os benefícios da inoculação em plantas submetidas a compactação.

Dessa forma, a hipótese deste estudo foi que a inoculação com estirpes de rizóbio promove o adequado desenvolvimento do feijão caupi quando cultivado em solo submetido à compactação. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da inoculação com estirpes de rizóbio e da compactação do solo no crescimento, desenvolvimento e produção de feijão caupi.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do feijão caupi

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) tem como origem o continente Africano, sendo introduzida no Brasil primeiramente no estado da Bahia, de onde se expandiu para todo o território nacional (SINGH et al., 2002).

Devido as características de cultivo como, por exemplo, a boa adaptação a diferentes classes de solo, a capacidade de realizar a simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e a sua rusticidade, tornou-se uma cultura de grande importância na região do Nordeste (CARDOSO et al., 1999).

Outro atributo relevante dessa cultura refere-se à alta quantidade de proteínas, aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais presentes nos grãos, representando deste modo, o alimento básico para a população de baixa renda (ANDRADE-JUNIOR, et al., 2002).

Além disso, possui resistência às condições de estresse hídrico, térmico e salino, demonstrando importância socioeconômica em diversas regiões do país. Entretanto o feijão caupi apresenta baixa produtividade devido às condições de manejo, no qual não se tem empregado tecnologias avançadas (FREIRE FILHO et al., 2005).

A destinação desta planta para a produção de feijão-verde constitui-se numa alternativa para aumentar renda dos agricultores familiares e apresenta-se como opção para o processamento industrial (SILVA et al., 2013). Além disso pode ser utilizado como forragem, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal, como adubação verde, proteção do solo

(ROCHA, 2009), e para recuperação de solos que foram intensamente esgotados (OLIVEIRA; CARVALHO, 1988).

O cultivo de feijão caupi é realizado, predominantemente sob o regime de sequeiro, caracterizado por irregularidade de chuvas e altas temperaturas. No entanto, Nascimento et al. (2004) ressaltaram a importância de conhecer a capacidade de resposta dessa cultura aos níveis de déficit hídrico e também a relação entre produtividade e consumo de água.

2.1.1 Caracteres agronômicos da cultura do feijão caupi

O feijão- caupi é considerado uma *Dicotyledonea*, pertencente ao filo *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, Família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo, *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *Unguiculata* (PADULOSI; NG, 1997).

As plantas da família *Fabaceae*, comumente denominadas leguminosas, são importantes fontes proteicas ao homem e aos animais, ocupando área equivalente a 11% das terras cultiváveis do mundo (CARVALHO, 2002).

Segundo Paiva et al. (1972) o cultivo do feijão caupi em condições tropicais, pode ser classificado como: ciclo precoce (maturidade atingida até 60 dias após a semeadura); ciclo médio (maturidade atingida entre 60 e 90 dias após a semeadura) e ciclo tardio (maturidade atingida acima de 90 dias após a semeadura).

Apresenta arquitetura resultante da interação de caracteres como: hábitos de crescimento, comprimento do hipocótilo, dos entrenós, dos ramos principais e secundários e do pedúnculo das vagens, disposição dos ramos

laterais em relação ao ramo principal, disposição dos pedúnculos das vagens em relação à copa da planta e consistência dos ramos (FREIRE FILHO et al., 2005).

De acordo com Bezerra (1997), os produtores buscam plantas que apresentam uma arquitetura denominada mais moderna, ou seja, mais eretas, de porte mais compacto, com ramos mais curtos e resistentes ao acamamento, e isso se deve principalmente à adoção de práticas relacionadas à colheita mecanizada.

A produção brasileira de feijão caupi concentra-se principalmente nas regiões Norte e Nordeste, no entanto, constata-se que a cultura está se expandindo para os cerrados dessas regiões e também do Centro-Oeste. No Nordeste, tradicionalmente as áreas de produção se concentram no semiárido, onde o cultivo de outras culturas anuais não tem proporcionado bons rendimentos, devido à irregularidade das chuvas e das altas temperaturas (FROTA; PEREIRA, 2000).

2.1.2 Feijão caupi cultivado na região Centro-Oeste brasileira

Segundo estudos realizados por Silva et al. (2015) a produção de feijão caupi no Brasil concentra-se na região Nordeste e Norte e atualmente esta sendo incorporada na região Centro-Oeste em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. Dados apontam que essa cultura representa 35,6 % da área plantada e 15 % da produção de feijão total (feijão comum + feijão caupi).

Na região dos cerrados, essa espécie tem um custo muito competitivo, fato 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, agroindústrias, distribuidores e consumidores (FREIRE FILHO, 2011).

A afirmação acima confirma os dados apresentados pelo Sinimbu (2015), no qual aponta Mato Grosso como o estado mais promissor para o cultivo dessa espécie, além do mais, esse autor relata que todo o feijão exportado pelo Brasil é produzido no Mato Grosso. Dessa forma, vem-se intensificando o cultivo do feijão caupi na região Centro-Oeste do Brasil, porém a demanda nacional ainda é maior do que a oferta disponível no mercado.

Sengundo Freire Filho et al. (2011) no cenário nacional existe um déficit nas regiões Norte e Nordeste de 17.576,7 e 102.281,3 toneladas, respectivamente, devido principalmente à baixa produtividade obtida nestas regiões, enquanto no Centro-Oeste há um superávit de 38.271,7 toneladas.

Devido à diversidade de produtos para o comércio, essa cultura não é indicada para o cultivo em grandes áreas do Estado do Mato Grosso do Sul, isso devido à obtenção de maior lucratividade quando a venda é realizada como vagem-verde em propriedades menores (CECCON et al., 2013).

Em razão desses dados, os autores Santos et al. (2013) estudaram a adaptabilidade e a estabilidade da produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão caupi para fins de recomendação para o Estado de Mato Grosso do Sul e selecionaram as cultivares MNCO2-675-4-9 e MNCO3-736F-6 que apresentaram maior potencial para ambientes que utilizam sistema de alta tecnologia assim como adaptadas também para cultivo em áreas com baixo nível tecnológico.

2.2. Compactação do solo

Aliado ao uso contínuo de maquinários agrícolas, o manejo inadequado altera a densidade natural do solo, causando redução em sua qualidade física e, por conseguinte, implicando em efeitos negativos no desenvolvimento de culturas (FARIAS et al., 2013).

As modificações que podem ocorrer nas propriedades físicas do solo vão desde o aumento na densidade do solo, aumento da resistência do solo à penetração das raízes, até à redução da macroporosidade, menor condutividade hidráulica e menor acúmulo de água, comprometendo desta forma a infiltração de água e a penetração das raízes no perfil do solo, que se torna mais suscetível à erosão (RICHART et al., 2005).

Segundo Bertol et al. (2000), o sistema de manejo convencional normalmente ocasiona a degradação do solo pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica, especialmente quando dissociado de práticas conservacionistas.

Bergamin et al. (2010) constataram que o tráfego de trator em Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso, cultivado em sistema de plantio direto na cultura do milho, causou o aumento da densidade do solo e a redução da macroporosidade e porosidade total e também o aumento da resistência do solo à penetração de maneira efetiva, até 0,10 m de profundidade, influenciando negativamente o sistema radicular dessa cultura.

Em ensaio realizado por Collares et al. (2008) verificou-se a interferência no sistema radicular e na área foliar do feijoeiro em solo submetido a compactação, devido à quatro passadas de máquina (Plantio direto com compactação adicional - PDc), promovendo a redução da produtividade do feijoeiro em 17 %.

Trabalhando com feijão Pérola em casa de vegetação com Latossolo vermelho, Pessoa et al. (2012) encontrou que a compactação interferiu negativamente no crescimento aéreo e radicular.

2.2.1 Efeitos da compactação do solo sobre as plantas

A compactação do solo é um dos processos que mais interferem no desenvolvimento das plantas, influenciando na germinação, brotação e emergência das plantas, assim como no crescimento radicular (NASCIMENTO et al., 2007).

Carmago e Alleoni, (2006) descrevem algumas das modificações de importância agrônômica causadas pela compactação, dentre elas destacam-se: aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor e de nutrientes.

As alterações nas propriedades físicas do solo geralmente são demonstradas pelas plantas através de alguns sintomas visuais como o baixo índice de emergência ou emergência lenta das plântulas, grande variação no tamanho das plantas e maior número de plantas com menor altura, plantas com colorações diferenciadas e amareladas, mal formação das raízes e desenvolvimento raso e horizontal (PEDROTTI; DIAS JUNIOR, 1996).

Os autores Veihmeyer e Hendrickson (1948) identificaram em seus estudos as densidades limites superadas pelas plantas, situadas geralmente nos valores de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ para solos arenosos e $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ para solos argilosos. No entanto, relatam que a capacidade das raízes têm para penetrar em solo compactado varia de solo para solo e até mesmo de planta para planta. Posteriormente, as afirmações dos autores foram validadas nos estudos realizados por VIANA (2004), REINERT, et al. (2008) e CARDOSO, et al. (2006).

Beulter e Centurion (2004), estudando o comportamento da soja em solo compactado, demonstraram que a produtividade decresce com aumento da resistência à penetração, devido às alterações das distribuições das raízes. Da mesma forma, Materechera et al. (1992) relataram que a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem.

Em um ensaio realizado por Foloni et al. (2003), com objetivo de avaliar o desenvolvimento aéreo e radicular de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.), em solo submetido a quatro níveis de compactação, os autores observaram que a variedade Sol da Manhã, tanto no crescimento aéreo como no crescimento radicular, foram prejudicadas pela compactação do solo.

Outro ponto importante refere-se à concentração de ácido abscísico (ABA) que é alterado em função do sistema radicular menos desenvolvido em solos compactados. O sistema radicular absorve menos água e, conseqüentemente, reduz o potencial de água e a pressão de turgor das raízes, aumentando a produção do ABA (MULHOLLAND et al., 1996).

Davies et al. 1994 ressaltaram a importância do ABA encontrado no xilema pelo qual é responsável pela diminuição da condutância estomatal, atividade fotossintética e expansão foliar.

2.3 Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas devido às funções que são desempenhadas por este nutriente como, por exemplo, é parte dos componentes de aminoácidos, proteínas, amidas, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, hexoaminas, clorofila e metabólitos secundários como alcalóides, glicosídeos cianogênicos, glucosinolatos e aminoácidos não-protéicos que atuam na defesa da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo Araujo e Hungria (1994), os teores de nitrogênio nos solos do Brasil, de modo geral, não são elevados e geralmente se situam na faixa de 0,05% a 0,30% e, além disso, o nitrogênio pode ser perdido facilmente

por lixiviação e volatilização, dependendo de sua forma mineral e, ainda pode ser consumido por micro-organismos (MIFLIN; HABASH, 2002).

Além disso, existem as condições de temperatura e de umidade predominantes no território brasileiro, as quais aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica, bem como de perdas gasosas e por lixiviação de nitrogênio, resultando em solos com teores pobres desse nutriente, capazes de fornecer, em média, apenas 10 a 15 kg de nitrogênio por cultura (HUNGRIA et al., 2007).

A falta de nitrogênio é observada em quase todos os solos, consistindo o critério de identificação da deficiência no aparecimento de uma clorose generalizada das folhas, iniciando-se pelas folhas mais velhas, o que está relacionado com a participação desse nutriente na estrutura da molécula de clorofila (CARVALHO et al., 2003).

Bredemeier e Mundstock, (2000) ressaltaram que o nitrogênio apresenta a característica de alta mobilidade no solo, o que influencia na absorção e metabolização no interior das plantas e devido à esse fato, este nutriente tem sido estudado com a finalidade de maximizar a eficiência do seu uso.

O nitrogênio é absorvido em quantidades diferentes durante o ciclo das culturas e isso se deve principalmente a quantidade de raízes e da taxa de absorção por unidade de peso de raiz (mols de NO_3^- ou NH_4^+ $\text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$ raiz). Normalmente, essa quantidade aumenta progressivamente durante o período de crescimento vegetativo, atingindo o máximo durante os estádios reprodutivos e cai na fase de enchimento dos grãos (CREGAN; BERKUM 1984).

No ciclo do feijão caupi, esse nutriente é essencial até os 20 DAE, e a partir dos 25 dias, a necessidade da cultura em nitrogênio pode ser suprida pela fixação biológica, estendendo-se até a floração, que normalmente

ocorre entre 45 e 55 DAE, para cultivares de porte determinado, e entre 75 e 90 dias para os de porte indeterminado (OLIVEIRA; DANTAS 1988).

2.3.1 Fixação biológica de nitrogênio

Segundo Döbereiner (1990) a fixação biológica de nitrogênio (FBN) começou a ser estudada devido principalmente ao alto custo dos fertilizantes nitrogenados (70% dos custos dos fertilizantes), logo uma alternativa viável seria o uso de micro-organismos que realizam esse processo, refletindo no desenvolvimento dessa biotecnologia.

A FBN é um processo biológico de quebra da tripla ligação do nitrogênio através de um complexo enzimático, denominado nitrogenase. Este processo ocorre no interior de estruturas específicas, denominadas de nódulos (DILWORTH, 1984).

Processo realizado pelas bactérias, principalmente pelo gênero *Rhizobium* que em função da evolução nos estudos e da sua importância, foram subdivididos em "Rhizobiaceae" (*Rhizobium spp.*, *Sinorhizobium spp.* e *Ensifer spp.*), "Phyllobacteriaceae" (*Mesorhizobium spp.*), "Bradyrhizobiaceae" (*Bradyrhizobium spp.*) e "Hiphomicrobiaceae" (*Azorhizobium spp.*) (GARRITY; HOLT, 2001).

Segundo Hungria et al. (2007), os fertilizantes nitrogenados representam a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas, mas a um custo elevado. O processo industrial que transforma o N_2 em amônia requer: hidrogênio (derivado de gás de petróleo); 2- catalisador contendo ferro; altas temperaturas (300° a 600°C); e altas pressões (200 a 800 atm).

A enzima que catalisa o processo de redução do nitrogênio atmosférico a NH_4^+ é denominada nitrogenase e esta reação é acoplada à produção de H_2 . Atualmente, são conhecidos três tipos de nitrogenase: um que possui molibdênio (Mo) e ferro (Fe); outro em que o vanádio (V) substitui

o Mo; e um terceiro, que só tem ferro (nitrogenase-3). *Azotobacter chroococcum* e *A. paspali*, além da nitrogenase tradicional, possuem a nitrogenase de vanádio. Já *Azotobacter vinelandii* possui os três tipos de nitrogenase (PAU et al., 1989).

Brito et al. (2011) realizaram um ensaio que teve por objetivo avaliar os efeitos de doses de nitrogênio, na forma de ureia, sobre a fixação simbiótica de nitrogênio em feijão comum e caupi, e constataram que a FBN em caupi quando submetido à inoculação pode substituir totalmente a adubação nitrogenada, inclusive a dose de arranque.

Trabalhos realizados por Ferreira et al. (2000) apresentaram resultados a FBN, sendo constatado que a inoculação de estirpes eficientes de *Rhizobium* em cultivar nodulante de feijoeiro, ou o cultivo deste em solos com população nativa eficiente, pode possibilitar a não utilização de nitrogênio em cobertura na cultura do feijoeiro, sem afetar a produtividade.

Segundo Araujo e Hugria (1994), o processo de FBN para ser eficiente, requer vários atributos como a escolha adequada dos parceiros simbióticos, ou seja, estirpes de bactérias mais eficientes e competitivas e genótipos de plantas que respondem ao microsimbiontes.

Logo, a inoculação com essas estirpes é indicada em função da necessidade de aumentar a nodulação e a fixação de N nas plantas (ARAUJO et al., 2007). Esse processo constitui em uma valiosa fonte deste nutriente para o feijão comum e caupi, tendo sua magnitude influenciada pela disponibilidade de nitrogênio mineral na solução do solo (BRITO et al., 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis, situada na latitude 16°28'15" Sul, longitude 54°38'08" Oeste e altitude de 227 metros.

O substrato utilizado foi coletado de uma área com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de acordo com EMBRAPA (2006). Para a caracterização química (Tabela 1) coletou-se o mesmo na camada de 0-0,2 m, passado em peneira de 2 mm de abertura e homogeneizado para análises posteriores.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica da camada 0-0,2m do Latossolo Vermelho (Rondonópolis-MT, 2015).

pH	P	K	Ca	Mg	H	Al	SB	CTC	V	M.O.	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----						%	g dm ⁻³	g kg ⁻¹		
4,0	1,4	23	0,4	0,2	5,4	0,8	0,7	6,8	9,7	27,1	423	133	444

pH = Potencial hidrogeniônico; P= Fósforo; K= Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H = Hidrogênio; Al = Alumínio; SB= Soma de bases; CTC = Capacidade de troca de cátions; V= Saturação por bases; M.O= Matéria orgânica.

A partir dos resultados das análises do solo e com base nas características nutricionais da cultura, foram feitas as recomendações de calagem e adubação. Foi realizada a correção do solo com calcário dolomítico (PRNT 80%), elevando-se a saturação por bases para 60% durante 30 dias.

No momento da compactação, foi realizada a adubação, de acordo com as necessidades nutricionais da cultura, a qual consistiu em 240 mg dm³ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples, 200 mg dm³ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e 150 mg dm³ de nitrogênio, na forma de ureia (apenas no controle). Foi realizada a adubação de micronutrientes após o

estabelecimento das plantas, sendo aplicado 1 mg dm³ de boro e cobre, 3 mg dm³ de manganês e zinco e 0,2 mg dm³ de molibdênio (RAIJ 1985).

3.1 Implantação e condução do experimento

Para implantação do experimento foi necessário realizar a montagem das parcelas. A unidade experimental foi constituída pela sobreposição e encaixe de três anéis de PVC rígido com diâmetro de 150 mm, e cada anel com 10 cm de altura.

Na parte inferior da unidade experimental, inseriu-se uma tela de polietileno com malha de 1 mm, fixada com anel de borracha obtido pela secção transversal de câmara de ar. A montagem da parcela foi realizada através do encaixe dos anéis, utilizando uma fita adesiva para assegurar a resistência ao transporte e aos procedimentos de avaliação do experimento. Foram usados pratos plásticos de 100 mm de diâmetro, com a finalidade de proporcionar apoio para as parcelas e facilitar a irrigação (Figura 1).

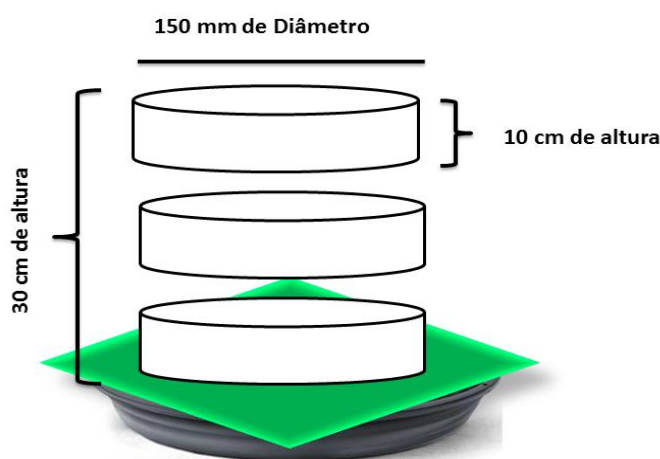


Figura 1. Dimensionamento da parcela experimental composta por três anéis de PVC cortados com altura de 0,1 m e com um diâmetro externo de 0,15 m.

Os anéis superiores e inferiores foram preenchidos com massa de solo sem adição de compactação, enquanto o anel central foi ao aumento de $1,6 \text{ Mg m}^3$, de acordo com a metodologia descrita no experimento conduzido por (FAGUNDES et al., 2014).

A umidade para compactação foi determinada em ensaios (Proctor normal), conforme a norma NBR 7182 (ABNT, 1986), estabelecendo 16%. Para a obtenção do nível de compactação desejado, foram adicionadas quantidades calculadas de solo ao anel central que foi preenchido, e após esse procedimento foi realizada compactação com a utilização de uma prensa hidráulica.

Para alcançar a densidade necessária no experimento, foi utilizada a equação (1), no qual determina a quantidade de massa de solo seco que deve ser adicionado ao anel central.

Equação 1 :

$$D_s = \frac{M_{SS}}{V_T}$$

Onde:

M_{SS} – Massa do solo seco (g);

V_T - Volume total do anel (cm^3);

D_s - Densidade do solo (g cm^{-3}).

Logo, a quantidade de solo colocada na prensa foi estabelecida de acordo com a umidade apresentada em cada recipiente (Figura 2). Foi utilizada a equação 2 para o cálculo do peso da massa do solo úmido a ser utilizado (M_{SU}):

Equação 2 :

$$M_{SU} = M_{SS} + (1 + \theta_m)$$

Onde:

MSU - Massa do solo úmido (g);

MSS - Massa do solo seco (g);

θ_m - umidade a base de massa (%).



Figura 2. Compactação dos anéis centrais utilizando a prensa hidráulica P15 ST 15 Ton.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos dispostos em fatorial 3 x 2 corresponderam à estirpe BR3267 (recomendada para o feijão caupi) e a combinação das estirpes MT8 e MT15, (Adquiridas de plantas iscas de feijão caupi e testadas em ensaios anteriores) e um controle (adubação nitrogenada – 150 mg dm³) em solo com sem compactação, com seis repetições totalizando 36 parcelas experimentais.



Figura 3. Semeadura realizada após a montagem das parcelas experimentais.

3.3 Manutenção da umidade

A manutenção da umidade dos vasos foi realizada na superfície dos vasos e por capilaridade, onde as bandejas da parte inferior tiveram seu volume preenchido com água constantemente.

3.4 Crescimento e inoculação das estirpes de rizóbio

Para o preparo do inoculante, foram utilizadas as estirpes de rizóbios isoladas de feijão caupi (MT8 - *Rhizobium tropici* e MT15 - *R. tropici*) e BR3267 de *Bradyrhizobium japonicum* (estirpe indicada pela Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbiológicos de Interesse Agrícola – RELARE para inoculação em feijão caupi) utilizando a metodologia de FRED; WAKSMAN, 1928. O meio contendo as estirpes de rizóbio passou 48 horas na mesa agitadora (a 100 rpm) a fim de promover e acelerar a multiplicação celular. Verificado o crescimento dos rizóbios, foi distribuída uma alíquota de 10 mL de caldo bacteriano contendo 10^8 células mL^{-1} próximo à área radicular de cada planta.



Figura 4. Inoculação com as estirpes MT8+MT15 e BR3276 nas parcelas experimentais 7 dias após a semeadura.

3.5 Controle fitossanitário

Em função da alta quantidade de insetos e do aparecimento de manchas em diversas folhas, foi necessário introduzir o controle de pragas e doenças com a finalidade de prevenir futuros danos à cultura. O manejo fitossanitário foi realizado utilizando fungicida (Priori extra) e inseticida (Curion) na dose recomendada pelo fabricante (300 mL ha^{-1}) após 12 dias da semeadura.

3.6 Determinação da população de rizóbio no solo

Para avaliar a presença e o número de rizóbios presente no solo, foi conduzido um ensaio em casa de vegetação, utilizando como planta-isca, a mesma cultivar de feijão caupi do experimento de compactação.

A montagem das parcelas experimentais foi realizada utilizando vasos de $0,7 \text{ dm}^3$ preenchidos com o substrato areia e vermiculita (proporção 2:1)

esterilizado quatro vezes em autoclave, com intervalo de 24h entre cada esterilização.

As sementes de feijão caupi, foram desinfestadas pela imersão em etanol (70%) por 1 minuto e com peróxido de hidrogênio 10% por dois minutos e lavada dez vezes com água esterilizada seguindo metodologia descrita por Zilli et al. (2013). Foram semeadas cinco sementes por vaso, sendo realizado o desbaste, deixando-se somente uma planta por vaso.

Para a inoculação das plantas, foi retirada uma amostra do solo utilizado no experimento com compactação e inoculação do rizóbio em feijão caupi. Foram pesados 10 gramas do solo e adicionados a uma solução salina (85 g L^{-1} de NaCl em água destilada), a qual foi mantida sob agitação a 100 rpm por 60 minutos. Em seguida, uma alíquota de 1mL da solução foi adicionada a um tubo de ensaio contendo 9mL de solução salina (10^{-1}). Foram feitas sucessivas diluições até atingir a diluição 10^{-7} .

A comprovação da presença e/ou ausência do rizóbio no solo foi feita a partir das diluições 10^{-4} a 10^{-7} , aplicando-se 1mL da solução próximo ao sistema radicular de cada planta. Utilizou-se 3 repetições para cada diluição. Semanalmente foram aplicados em cada vaso 300 mL da solução nutritiva de Norris (Norris, 1964), parcelando-a em três vezes de 100 mL por dia.



Figura 5. Vista Geral do ensaio para determinação do número de rizóbio no solo.



Figura 6. Inoculação nas plântulas de feijão caupi com a solução contendo solo utilizado no experimento da compactação nas diluições 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} e 10^{-7} .

Aos 25 dias após a emergência das plântulas foi realizada a coleta das plantas para avaliar a nodulação em cada diluição, onde foi atribuído caráter positivo às plantas que apresentavam pelo menos um nódulo e, negativo, para aquelas que não apresentaram nódulos (ANDRADE; HAMAKAWA 1994).



Figura 7. Análise visual das raízes de plantas iscas de feijão caupi para verificar a presença ou ausência de nódulos após 25 dias da semeadura.

3.7 Variáveis analisadas

- **Altura da planta:** Foi determinada aos 35 e 56 dias após a emergência das plantas, sendo adquirida a partir da superfície do solo até a extremidade do caule principal com o auxílio de uma trena graduada.



Figura 8. Altura das plantas de feijão caupi inoculadas com rizóbio em solo com e sem compactação.

- **Índice de clorofila Falker:** Foi avaliado utilizando-se um medidor eletrônico (ClorofiLOG – CFL 1030). As medições foram realizadas aos 35, 45, 52 e 58 dias após a semeadura e consistiram na verificação de três pontos por folha, no terço médio da planta, e em três plantas por parcela, totalizando nove pontos de avaliações por parcela.



Figura 9. Índice de clorofila Falker em plantas de feijão caupi inoculado com rizóbio e cultivado em solo com e sem compactação.

- **Produção de raízes no anel superior da coluna:** As colunas de PVC foram desmontadas para coleta e quantificação de raízes. Foram divididos os anéis e posteriormente foram peneirados.

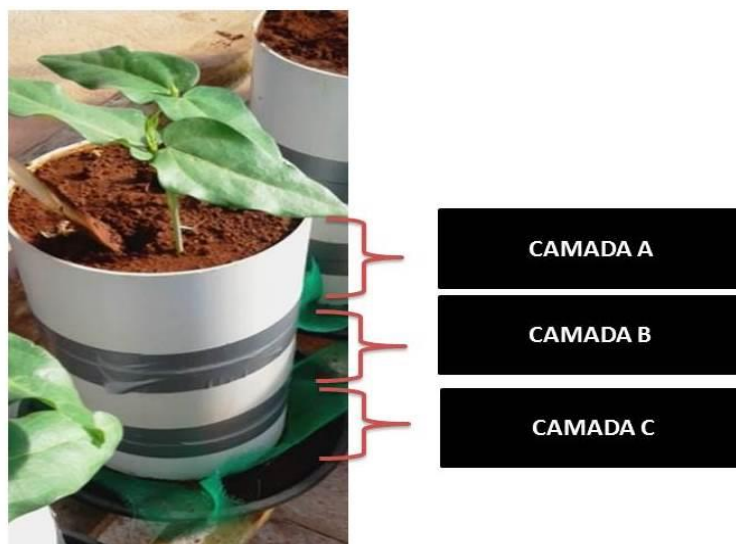


Figura 10. Especificação das camadas A (0-10 cm), B (10-20 cm) e C (20-30 cm) presentes em todas as parcelas experimentais.

- **Produção de massa seca da parte aérea, raízes, nódulos e grãos:** A matéria seca foi determinada através da secagem das amostras em uma estufa de circulação forçada, a temperatura constante de $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ até que o peso constante fosse determinado. Os dados obtidos foram expressos em g planta^{-1} .

- **Número de nódulos:** O número de nódulos foi determinado através da coleta manual em cada camada da parcela.

- **Número de vagem por planta e de grão por vagem:** O número de grãos foi determinado após a coleta das vagens de todas as plantas. Os grãos foram retirados de cada vagem, e em seguida foi realizada a contagem e, posteriormente, foram pesados.

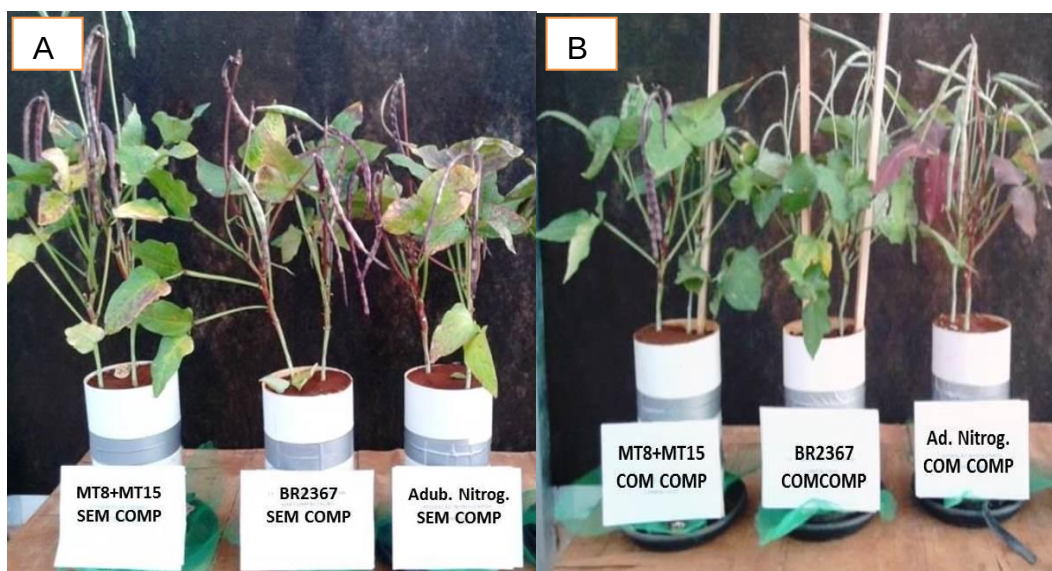


Figura 11. Desenvolvimento do Feijão caupi inoculado com rizóbio em solo sem (A) e com compactação (B) aos 90 dias após a semeadura.

- **Comprimento médio por vagem:** O comprimento das vagens foi determinado com o auxílio de uma régua graduada de 30 cm.
- **Determinação da concentração de nitrogênio na parte aérea e nos grãos:** A determinação da concentração de nitrogênio e proteína bruta foi realizada de acordo com a metodologia Kjeldahl, descrita por Malavolta et al. (1997).

3.8 Análises estatísticas

Todos os dados foram analisados por meio da análise de variância. Com as variáveis significativas foram feitas comparações entre médias, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade, com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Altura de planta

Os resultados obtidos na análise de variância mostraram que não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos e a condição do solo (com e sem compactação) em relação à altura de planta. Os tratamentos que obtiveram os melhores valores aos 35 e 56 dias foi o controle (adubação nitrogenada) e a estirpe BR3267 (tabela 02).

Tabela 2. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na altura de plantas de feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Altura (cm) aos 35 dias		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	35,4 Aa	36,9 Aa
MT8+MT15	36,7 Aa	37,5 Aa
Adubação nitrogenada	38,0 Aa	33,5 Aa
CV (%)= 9,18		
Altura (cm) aos 56 dias		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	37,2 Aa	38,8 Aa
MT8+MT15	36,3 Aa	36,4 Aa
Adubação nitrogenada	36,4 Aa	36,5 Aa
CV (%)= 10,54		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

Em trabalho realizado em campo por Modolo et al. (2011), demonstraram que a altura não sofreu alteração com as diferentes cargas de roda compactadora (0, 60, 110 e 190 N), aplicadas em solo classificado como Latossolo vermelho aluminoférrico.

Porém, em ensaio realizado em campo com Latossolo Vermelho distroférrico, autores como Singh et al. 1971 e Montanari et al. (2010) constataram que o aumento da densidade do solo de até $1,60 \text{ kg dm}^{-3}$ proporcionaram substancial queda em diversos aspectos das plantas como altura, número de folhas, massa seca da parte aérea e produtividade.

Os dados encontrados nesse ensaio pode ser explicado através das citações dos autores Johnson et al. (1990) e Passioura (1991), que relaciona a compactação ou a resistência à penetração com a precipitação pluvial no período de crescimento da planta, isto é, a resistência à penetração diminui com o aumento da umidade no solo. A partir dessa afirmação é possível explicar a não alteração na altura entre as duas condições do solo, devido à manutenção constante de umidade em todas as parcelas experimentais.

A umidade proporcionada aos tratamentos promoveu o crescimento de raízes na camada mais profunda (camada C – 20-30 cm) favorecendo o adequado desenvolvimento das plantas cultivadas em solo com a densidade de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$. Esse resultado é descrito por Stone et al. (1976), pelo qual demonstraram que o suprimento de água em plantas é alcançado quando existem pequenas quantidades de sistema radicular em camadas mais profundas do solo.

Em relação aos tratamentos inoculados, estudos realizados por Brito et al. (2011), em ensaio conduzido em casa de vegetação, com Latossolo vermelho-amarelo distrófico, utilizando feijão caupi, demonstraram que a fixação simbiótica de nitrogênio em feijão caupi submetido à inoculação foi capaz de substituir totalmente a adubação nitrogenada, inclusive a dose de arranque aplicada na semeadura.

Também pode-se constatar que Frigo et al. (2014) estudando feijão caupi, em campo, observaram que mesmo a altura ter atingido seu maior valor no tratamento que recebeu adubação nitrogenada, esse valor não diferiu estatisticamente do tratamento inoculado com a estirpe BR3267,

demonstrando que a inoculação disponibiliza quantidades suficientes de nitrogênio para o crescimento das plantas.

4.2 Diâmetro de caule

O diâmetro de caule não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 03).

Tabela 3. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no diâmetro do caule de feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Diâmetro do caule (cm) aos 35 dias	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	5,7 Aa	6,6 Aa
MT8+MT15	5,7 Aa	5,9 Aa
Adubação nitrogenada	6,4 Aa	5,9 Aa
CV(%)=11,93		
Tratamentos	Diâmetro de caule (cm) aos 56 dias	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	7,9 Aa	8,6 Aa
MT8+MT15	7,9 Aa	8,2 Aa
Adubação nitrogenada	8,7 Aa	8,5 Aa
CV(%)= 6,88		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

De acordo com Silva et al. (2010), o nitrogênio é um nutriente essencial para desenvolvimento das plantas, isto é, na sua ausência, variáveis como número de folhas, a altura, o diâmetro do caule e a área foliar das plantas são afetadas negativamente.

Através desse resultado, pode-se dizer que os tratamentos analisados nesse ensaio absorviam esse nutriente em quantidades

suficientes para manter adequado desenvolvimento, uma vez que apresentaram valores semelhantes aos tratamentos nos quais foi adicionado nitrogênio na forma de ureia.

Notou-se também que a compactação não alterou o diâmetro de caule das plantas, e nesse contexto, pode-se inferir que o estresse causado pela compactação, não foi capaz de interferir na aquisição de nutrientes.

De acordo com Borges et al. (1988) e Dolan et al. (1992) o aumento da densidade do solo acarreta baixa disponibilidade de nutrientes existentes, decorrente ao fato de que o transporte de diversos nutrientes é realizado por mecanismo de fluxo de massa e difusão, processos dependentes da tortuosidade de poros, densidade aparente, textura e conteúdo de água no solo.

4.3 Índice de Clorofila Falker

O índice de clorofila Falker é considerado uma alternativa viável para avaliar o estado de nitrogênio da planta em tempo real, devido à sua correlação significativa entre a intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de nitrogênio na folha (GIL et al., 2002).

Os resultados da análise de variância revelaram que não houve diferença significativa para o índice de clorofila Falker na parte aérea nas avaliações realizadas aos 45, 52 e 58 dias.

O tratamento que apresentou a maior índice de clorofila em solo com compactação foi a combinação das estirpes MT8+MT15, a qual os resultados foram superiores em relação ao tratamento adubado de até 11,26% aos 45, 52 e 58 dias após a semeadura. Entretanto a combinação das estirpes MT8+MT15 não diferiu significativamente do isolado BR 2367 e das plantas que receberam adubação nitrogenada (Tabela 04).

Tabela 4. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no índice de clorofila Falker em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Índice de Clorofila Falker aos 35 dias		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	65,0 Aa	66,2 Aa
MT8+MT15	63,7 Aa	64,8 Aa
Adubação nitrogenada	66,8 Aa	69,8 Aa
CV(%)= 9,04		
Índice de Clorofila Falker aos 45 dias		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	68,4 Aa	65,4 Aa
MT8+MT15	71,2 Aa	68,4 Aa
Adubação nitrogenada	63,2 Aa	65,1 Aa
CV(%)= 9,04		
Índice de Clorofila Falker aos 52 dias		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	66,9 Ab	73,0 Aa
MT8+MT15	73,8 Aa	73,6 Aa
Adubação nitrogenada	72,5 Aa	72,7 Aa
CV(%)=6,50		
Índice de Clorofila Falker aos 58 dias		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	68,4 Aa	67,1 Aa
MT8+MT15	71,2 Aa	68,0 Aa
Adubação nitrogenada	64,3 Aa	66,4 Aa
CV(%)=10,47		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

Os valores alcançados pelas plantas em solo com compactação, podem estar relacionados com a produção de raízes nas camadas A e C, em que produziram quantidades semelhantes aos tratamentos com ausência de compactação. De acordo com Borges et al. (1988), em solos com densidade inferior a $1,62 \text{ kg dm}^{-3}$ o crescimento do sistema radicular nas

camadas mais profundas favorece a absorção de bases, nitrogênio e outros nutrientes e, ainda, maior nodulação.

Nos tratamentos sob compactação do solo, a combinação das estirpes MT8+MT15 proporcionou os melhores resultados aos 45, 52 e 58 dias, ratificando as informações obtidas por Bashan (1998) ressaltando que a combinação de micror-organismos que interagem sinergicamente melhora alguns aspectos benéficos da fisiologia de ambos como, por exemplo, a maior afinidade com a planta hospedeira, aumentando assim, a eficiência da inoculação, além de promover maior desenvolvimento dos vegetais.

Outro dado importante refere-se ao fato da adubação nitrogenada ter apresentado resultado similar aos demais tratamentos na coleta realizada aos 35 dias, corroborando com trabalho conduzido por Almeida et al. (2010) que a partir de um ensaio em campo, descreveram que estirpes inoculadas em feijão caupi não apresentaram diferença significativa entre as testemunhas (com e sem aplicação de nitrogênio) quanto ao teor total de nitrogênio.

4.4 Número e comprimento de Vagem

A variável número de vagens, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Contudo pode-se verificar que as plantas inoculadas com a combinação de estirpes MT8+MT15 e com a estirpe BR3267 proporcionaram maiores valores quando submetido a estresse por compactação do solo, sendo encontrado resultado de 7 e 10 vagens por planta (Figura 12).

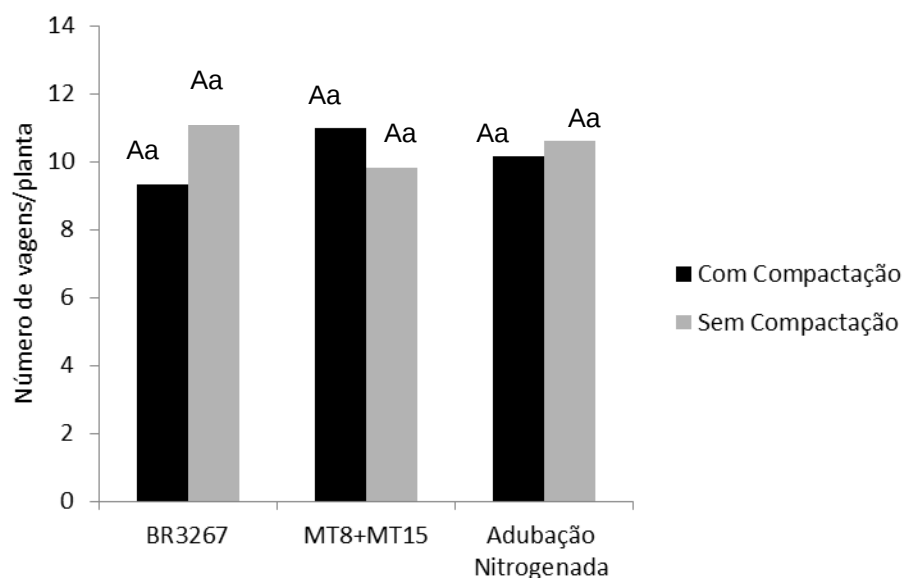


Figura 12. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número de vagens em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula para presença e ausência de compactação e minúscula para tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Resultado similar foi encontrado por Guedes et al. (2010) e por Almeida et al. (2010) em ensaios realizados em campo, utilizando feijão caupi cultivado em Neossolo Flúvico, onde não foi observado diferença significativa entre os tratamentos inoculados e os controles (com e sem adubação nitrogenada).

A compactação utilizada nesse experimento não interferiu na produção de vagens pela planta. De acordo com Novais e Smyth, (1999), em solos compactados que contém quantidades adequadas de água e nutrientes, dependendo do valor densidade e do tipo de solo, esta condição pode proporcionar maior disponibilidade desses elementos na solução do solo, por diminuir a interação dos íons com os colóides do solo, além de aumentar a difusão dos nutrientes.

Em relação ao comprimento de vagem, os tratamentos não apresentaram diferença estatística, porém a combinação de estirpes

MT8+MT15 apresentou o comprimento de 16,06 cm, atingindo um desvio acima da média dos tratamentos, que foi de 15,8 cm.

Semelhante a esse resultado, Guedes et al. (2010), cultivando feijão-caupi BRS Nova, encontrou o comprimento médio de vagens de 15 cm (Figura 13).

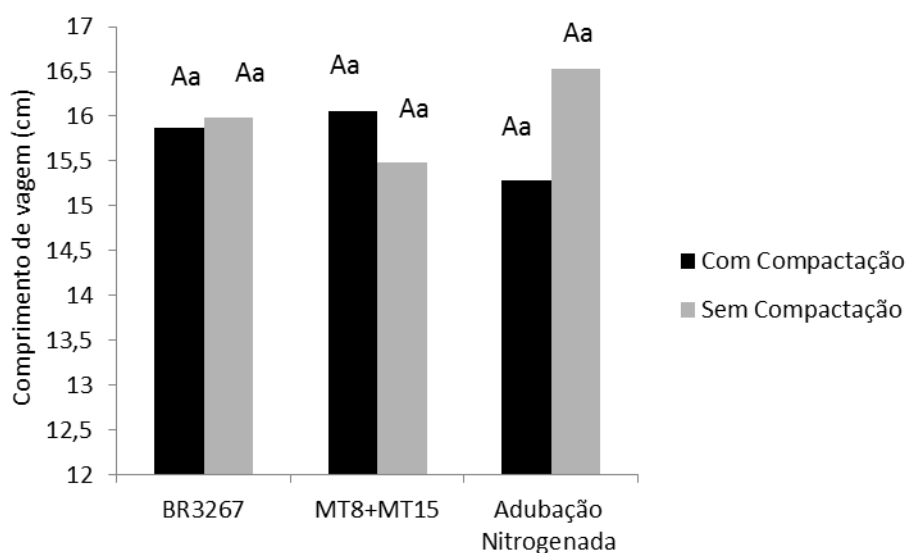


Figura 13. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no comprimento de vagens em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula para presença e ausência de compactação e minúscula para tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Esse resultado corrobora com ensaio realizado por Araújo et al. (2007), trabalhando em campo, com feijão carioca em Latossolo Vermelho Escuro concluíram que os tratamentos inoculados não diferenciaram do controle nitrogenado.

4.5 Número de nódulos

O número de nódulos foi determinado para cada camada da unidade experimental. Desse modo, a camada A (profundidade de 0 a 10 cm) não

apresentou diferença significativa entre os tratamentos, contudo, o tratamento que recebeu adubação nitrogenada apresentou nódulos em todas as repetições, indicando que a quantidade de nitrogênio aplicada não inibiu a formação de nódulos (Tabela5).

Tabela 05. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número de nódulos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Número de Nódulos (Camada A)		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	11,4 Aa	9,5 Aa
MT8+MT15	13,2 Aa	10,5 Ab
Adubação nitrogenada	11,3 Aa	7,2 Ab
CV(%)= 19,30		
Número de Nódulos (Camada B)		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	2,3 Ab	6,5 Aa
MT8+MT15	2,5 Ab	6,4 Aa
Adubação nitrogenada	1,0 Ab	3,1 Ba
CV(%)= 39,76		
Número de Nódulos (Camada C)		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	5,3 Bb	9,5 Aa
MT8+MT15	7,7 ABa	8,7 Aa
Adubação nitrogenada	9,3 Aa	7,7 Aa
CV(%)=30,43		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

Em todos os tratamentos foi possível identificar menor número de nódulos na camada A em solo sem compactação, destacando-se os tratamentos MT8+MT15 e a adubação nitrogenada que apresentaram redução de 20,45 e 36,28%, respectivamente, em relação aos tratamentos submetidos à compactação.

Na camada B (profundidade de 10 a 20 cm) ocorreu o inverso, pois a compactação interferiu na quantidade de nódulos em todos os tratamentos. Contudo, na camada C o único tratamento que sofreu influência negativa da compactação foi o BR3267 (Tabela 09).

Segundo Lynch e Wipps (1990), vários tipos de estresse como aqueles decorrentes do déficit hídrico, desequilíbrio nutricional e anaerobiose, incrementam o fluxo de compostos orgânicos liberados pelas raízes.

Em função disso, existe o maior número de bactérias e fungos que colonizam a rizosfera, e assim os exsudatos servem como substrato para o crescimento seletivo de micro-organismos do solo (CARDOSO E NOGUEIRA, 2007).

Devido a esse fato, os tratamentos compactados (MT8+MT15) na camada A e C apresentaram maior número de nódulos como forma de compensar a camada compactada.

A contagem do número de nódulos é considerada uma variável importante, pois é possível fornecer a medida da maior ou menor susceptibilidade do hospedeiro à infecção por bactérias do gênero *Rhizobium* no solo (STAPLES; TOENNIESSEN, 1981).

Da mesma forma Zilli et al. (2011), trabalhando em casa de vegetação, encontraram resultados similares a esse experimento, sendo descritos informações relevantes quanto a quantidade de formação de nódulos em diferentes estirpes.

Os autores relatam a que nodulação das plantas de feijão-caupi não diferiu significativamente entre as estirpes utilizadas como inoculante e, além disso, foi observada a formação média de mais de 80 nódulos-planta.

4.6 Massa seca da parte aérea

A variável massa seca da parte aérea foi influenciada pela compactação. Contudo, somente as plantas que receberam adubação nitrogenada apresentaram menor massa seca da parte aérea em solo compactado (Figura 14).

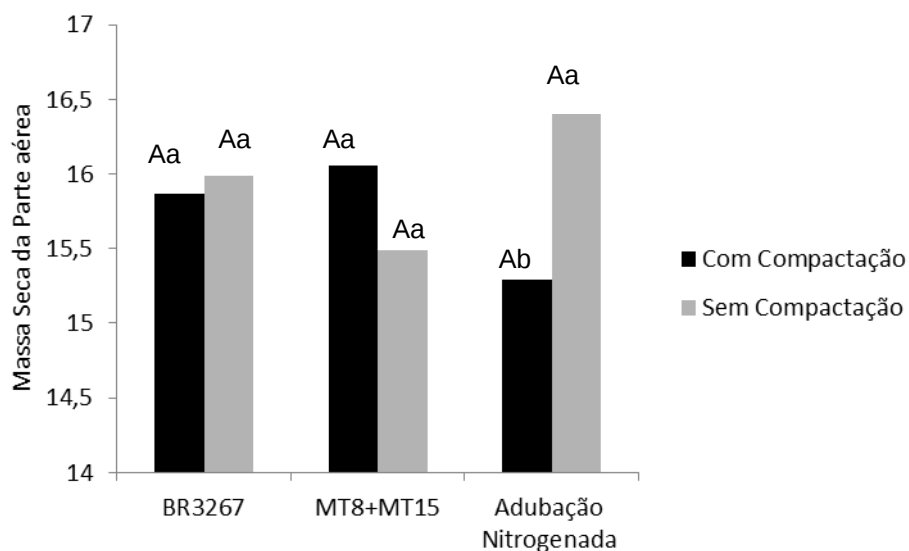


Figura 14. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca da parte aérea do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula para presença e ausência de compactação e minúscula para tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Corroborando com esse ensaio, Farias et al. (2013) relataram que o feijão guandu anão sofreu restrições no desenvolvimento das características morfológicas e, além disso, os dados refletiram em uma redução de 76,10% do menor para o maior nível de compactação do solo na massa seca da parte aérea

Resultado também verificado por Jimenez et al. (2008), onde pode constatar a redução da massa seca da parte aérea em todas as densidades estabelecidas no ensaio com feijão guandu.

Além desses autores, Nascimento et al. (2009) relataram que as plantas de feijão caupi quando inoculadas com os isolados produziram

biomassa na parte aérea equivalente às plantas que receberam a estirpe recomendada ou o nitrogênio mineral.

Por outro lado, em experimentos conduzidos por Nogueira e Manfredini (1983) e Johnson et al. (1990), foi observado que o decréscimo no desenvolvimento da soja não alterou os valores de produção, o que não ocorre nesse estudo, no qual, pode-se verificar redução nas variáveis número e massa seca de grãos de alguns tratamentos.

Silva e Rosolem (2001) também observaram que o solo com densidades de 1,12 a 1,60 Kg dm⁻³ não altera a parte aérea da soja em experimento conduzindo em casa de vegetação, utilizando como material o Latossolo Vermelho de textura franco arenosa, com 690, 150 e 160 g kg⁻¹ de areia, silte e argila.

4.7 Massa seca de raiz

Quanto à massa seca de Raiz, os tratamentos apresentaram resultados similares ao número de nódulos, isto é, apresentaram um decréscimo na camada B e aumentaram de forma discreta os valores na camada C, quando cultivados em solos compactados (Tabela 06).

Tabela 06. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca de raiz do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Massa Seca de Raiz (g vaso ⁻¹) - Camada A	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	1,5 Ab	3,1 Aa
MT8+MT15	2,3 Ab	3,4 Aa
Adubação nitrogenada	2,3 Aa	3,2 Aa
CV(%)= 29,0		
Massa Seca de Raiz (g vaso ⁻¹) - Camada B		

Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	0,1 Ab	0,5 Aa
MT8+MT15	0,3 Ab	0,6 Aa
Adubação nitrogenada	0,2 Ab	0,7 Aa
CV(%)= 50,0		
Massa Seca de Raiz (g vaso ⁻¹) - Camada C		
BR3267	0,5 Ba	0,6 Aa
MT8+MT15	0,7Aba	0,6 Aa
Adubação nitrogenada	1,0 Aa	0,5 Ab
CV(%)=38,5		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

De acordo com Nogueira e Manfredini, (1983), existem um maior desenvolvimento das raízes na região superior e inferior do cilindro, como uma forma de controlar os problemas decorrentes da compactação.

Isso se deve ao fato da camada compactada não se apresentar como uma massa contínua, com densidade constante e, portanto, as raízes procuram espaços para se desenvolver em solo com menor densidade (ROSOLEM et al., 1994).

Quanto aos tratamentos sem compactação, o comportamento foi distinto, sendo que a massa seca de raiz na camada B foi semelhante à camada C. Além disso, todos os tratamentos na camada A e B apresentaram maior massa seca de raiz em comparação com a camada com a maior densidade.

Esses resultados corroboram com Guimarães et al. (2002), que em estudo sobre efeito da compactação em casa de vegetação, utilizando a cultura do feijão comum, verificou que a massa seca de raiz tinha a tendência de diminuir com o aumento da densidade do solo.

O trabalho realizado por Pessoa et al. (2012) também demonstrou que a cultura do feijão é prejudicada quando submetida a estresse por compactação, obtendo redução no crescimento aéreo e radicular.

Esse dado pode estar relacionado com a condição física proporcionada pela compactação, pois segundo Camargo e Alleoni (1997), o aumento da compactação e consequente redução do tamanho dos poros, a ponto de impedir a passagem da raiz principal, leva a compensar esse efeito pela expansão de raízes laterais com diâmetros menores, que se proliferam e formam um sistema radicular muito denso e raso, que no campo dificilmente sobrevive às condições de seca.

4.8 Relação massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz

As médias para razão massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz apresentaram diferença estatística entre os tratamentos compactados. Para essa variável, as plantas inoculadas com a estirpe BR3267 proporcionaram o maior valor (Tabela 07).

Tabela 07. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na razão parte aérea/ raiz do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Relação massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	10,4 Aa	6,3 Aa
MT8+MT15	6,9 Ba	5,8 Aa
Adubação Nitrogenada	6,3 Ba	7,7 Aa
CV(%)= 10,6		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

De maneira semelhante a esse ensaio, Guimarães e Moreira (2001) e Rosolem et al. (1994) estudando o comportamento das plantas de arroz e soja submetido à compactação, em casa de vegetação, respectivamente, não encontraram diferença entre os tratamentos e densidades do solo para essa variável.

Bonelli et al. (2011) trabalhando com plantas forrageiras em casa de vegetação, utilizando quatro níveis de compactação pôde observar que a densidade do solo não interfere na relação massa seca da parte aérea/ massa seca de raiz.

De acordo com os resultados, o maior valor do tratamento BR3267 corresponde a menor massa seca de raiz total encontrada nesse tratamento. Sendo assim, é possível inferir que a compactação do solo não foi o fator que proporcionou redução nessa variável, pois os demais tratamentos não sofreram alterações quando submetidos à mesma densidade.

Uma possível hipótese para esse dado, está descrito em experimento realizado por Chargas e Oliveira (2009), no qual, pode-se observar que 92 estirpes de bactérias isoladas de feijão caupi produziram ácido indolacético, capaz de promover o crescimento radicular de espécies leguminosas e não leguminosas, porém cada estirpe produzia quantidades diferentes desse hormônio de crescimento.

4.9 Massa seca de nódulos

A massa seca de nódulos apresentou diferença significativa entre os tratamentos, em que se pode observar que nas camadas A sem compactação houve maior formação de nódulos nas plantas inoculadas com a estirpe BR3267. Porém na camada B, o tratamento MT8+MT15 proporcionou o melhor resultado (Tabela 8).

Quando em solo compactado, as plantas inoculadas com a estirpe BR3267 representou o tratamento com a maior massa seca de nódulos.

Tabela 8. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca de nódulos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Massa seca de nódulos (g vaso ⁻¹) - Camada A		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	1,1 ABa	1,1 Aa
MT8+MT15	1,1 Aa	1,1 ABa
Adubação nitrogenada	1,1 Ba	1,0 Ba
CV(%)= 5,07		
Massa seca de nódulos (g vaso ⁻¹) - Camada B		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	1,0 Ab	1,0 Ba
MT8+MT15	1,0Ab	1,0 Aa
Adubação nitrogenada	1,0 Aa	1,0 Ca
CV(%)= 1,66		
Massa seca de nódulos (g vaso ⁻¹) - Camada C		
Tratamentos	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	1,0 Aa	1,1 Aa
MT8+MT15	1,0 Aa	1,0 Aa
Adubação nitrogenada	1,1 Aa	1,1 Aa
CV(%)=76,3		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

.

Nogueira e Manfredini (1983) trabalhando com densidades de 1,22, 1,44 e 1,75 g/cm³ na cultura da soja, encontraram resultados semelhantes a esse, entretanto não houve a contagem dos nódulos, sendo verificada apenas a visualização como metodologia.

Zobiole et al. (2007) relataram redução na massa seca de nódulos com o aumento da densidade, sendo verificado a redução de 51,11 e

89,62% nos tratamentos cultivados na densidade 1,4 e 1,5 g cm³, quando comparados com a densidade 1,0 g cm³.

Uma observação importante encontrada por Borges et al. (1988), refere-se aos problemas decorrentes a compactação do solo. Nesse ensaio, os autores constataram que o aumento excessivo da compactação do solo no anel central do vaso provocava a formação de nódulos de cor mais acinzentada diferentes, portanto, daqueles nódulos tidos como efetivos na fixação de nitrogênio, que apresentam coloração róseo-avermelhada.

Essa informação também adequa-se a esse estudo, pois foi verificado que os nódulos na camada compactada apresentavam número reduzido e cor acinzentada.

4.10 Número de grãos por vagem e número total de grãos

O número de grãos por vagem não diferiu significativamente entre os tratamentos, sendo verificada a média de 7,29 grãos por vagem (Figura 15).

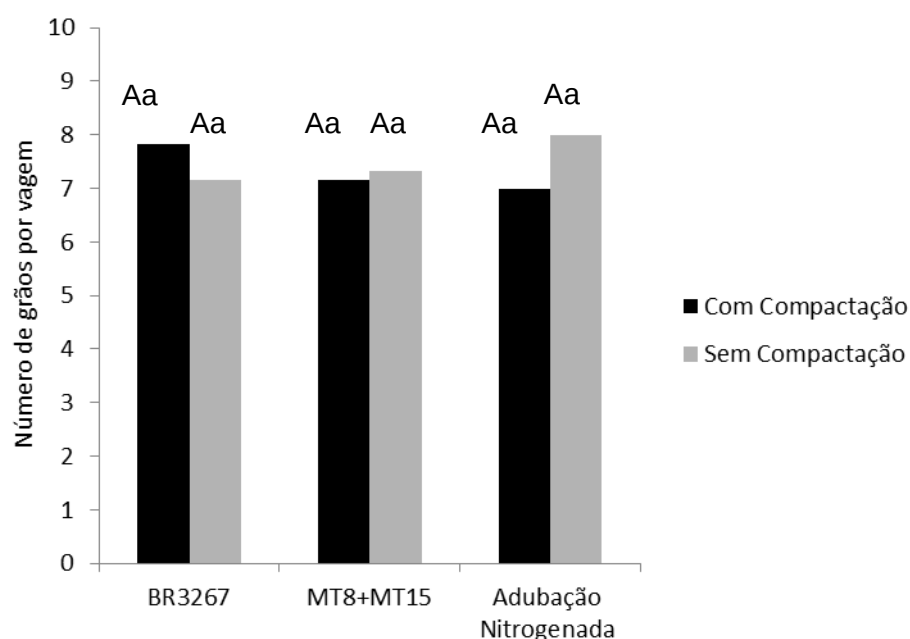


Figura 15. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número de grãos por vagem em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula para presença e ausência de compactação e minúscula para tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Do mesmo modo, Queiroz-Voltan et al. (2000) observaram, que em soja cultivada no solo compactado, o número de grãos não foi afetada com o aumento da densidade.

Sun (1995) afirma que o desenvolvimento de raízes em condições não aeradas como em solos compactados possuem características diferentes das presentes em solos bem estruturados.

Segundo esse autor, as raízes possuem comprimento menor, diâmetro maior e abundância de pêlos absorventes quando desenvolvidas em solos com densidade maior que o ideal, o que proporcionaria aumento na aquisição de nutrientes, deste modo, a planta adquire a quantidade suficiente para a produção nos dois tipos de manejo.

Para variável número total de grãos, a média geral foi de 69,66 e 78,915 em tratamentos com compactação e sem compactação respectivamente. Notou-se que as plantas inoculadas com combinação das estirpes MT8+MT15 apresentaram o maior valor, porém o tratamento BR3267 diminuiu o número total de grãos quando submetido à compactação (Figura 16).

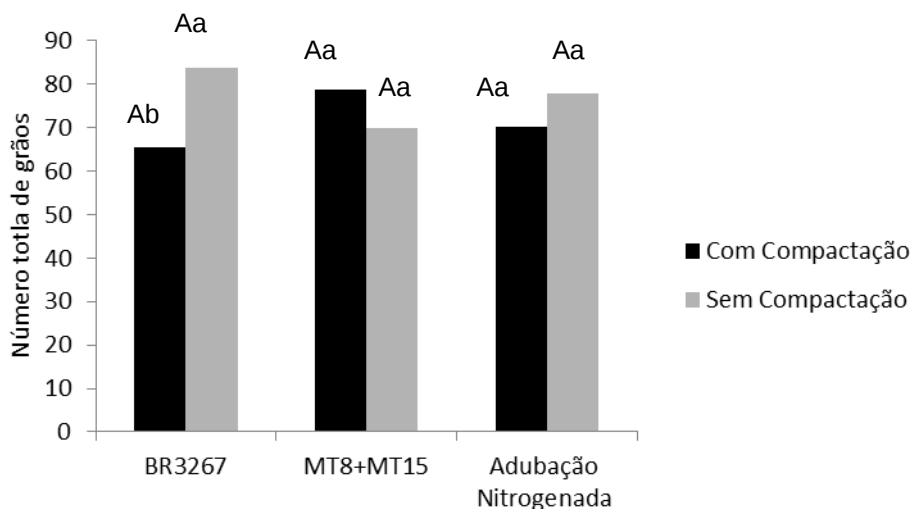


Figura 16. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio no número total de grãos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula para presença e ausência de compactação e minúscula para tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A redução no número de grãos decorrente da compactação no feijoeiro também foi encontrado por Collares et al. (2008), em ensaio realizado em campo, com diferentes manejos e com estado de compactação obtendo redução na produtividade em 17 %.

Outro ponto a ser analisado refere-se ao fato do tratamento com a combinação de estirpes não ter sofrido decréscimo na produtividade quando submetido à compactação. Esse dado pode-se ser explicado relacionando a afirmação descrita por Waksman (1963), no qual afirma que os micro-organismos excretam polissacarídeos e outras substâncias que agregam as partículas do solo, proporcionando um ambiente semelhante ao solo com densidade natural por favorecer a formação de macroporos.

Os autores Soares et al. (2006) e Silva et al. (2011), verificaram que a inoculação em feijão caupi proporciona produtividade semelhante às plantas adubadas com nitrogênio, confirmando deste modo, a afirmação de Caballero (2015), que descreveu a importância da fixação biológica de nitrogênio no desenvolvimento de leguminosas, indicando que esse

processo é capaz de suprir a adubação mineral dependendo da espécie e sistema de cultivo.

4.11 Massa seca de grãos

A massa seca de grãos foi influenciada pela compactação, em que os tratamentos BR3267 e adubação nitrogenada reduziram cerca de 22,44% e 20,74% respectivamente, comparando com os tratamentos sem compactação (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na massa seca de grãos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Massa Seca de Grãos (g vaso ⁻¹)	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	12,5 Ab	16,2 Aa
MT8+MT15	16,1 Aa	14,5 Aa
Adubação nitrogenada	12,4 Ab	15,7 Aa
CV(%)= 17,5		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

Similar a esse estudo, Beulter e Centurion, (2004) encontraram diminuição na produção de grãos com aumento da resistência a penetração, em experimento em campo com soja.

Esses dados pressupõem que, apesar da compactação não interferir nos parâmetros iniciais do desenvolvimento do feijão caupi (como altura, diâmetro, índice de clorofila falker e comprimento de vagem por exemplo), a variável massa seca de grãos foi afetada quando adubada com nitrogênio e inoculada com a estirpe BR3267, indicando que o nitrogênio disponibilizado por esses dois meios foram insuficientes para manutenção de todos os

processos fisiológicos das plantas, fato este, que não ocorreu com as plantas inoculadas com a combinação de estirpe MT8+MT15.

Uma explicação para esse resultado refere-se a falta de adaptabilidade da estirpe BR3267 às condições edafoclimáticas da região ou incapacidade para colonizar efetivamente as raízes na presença de populações de rizóbios já estabelecidas no solo (Item 4.13- pag 61- demonstrou alta interação com estirpes nativas do solo) (FERNANDES et al., 2003).

É possível inferir também que a combinação de estirpes MT8+MT15 proporcionou maior afinidade com a planta hospedeira, o que promoveu a fixação biológica de nitrogênio em quantidades adequadas para manter a produtividade quando cultivada em solo compactado.

Diferentemente desse ensaio, em estudos realizados por Giarola et al. (2009), Sampaio et al. (1995) e por Jesus (2006) estes não observaram efeito negativo com a compactação em vários parâmetros, inclusive produtividade nos diferentes estados de compactação em experimento com soja ou feijão.

Além desses dados , o ensaio realizado em campo por Suzuki et al. (2007), evidenciou que o maior rendimento do feijoeiro foi obtido com alto grau de compactação.

4.12 Concentração de nitrogênio e proteína bruta na parte aérea e grãos

A concentração de nitrogênio na parte aérea e nos grãos não apresentou diferença significativa, contudo as parcelas que receberam adubação nitrogenada e inoculação com combinação das estirpes

MT8+MT15 proporcionaram as maiores médias em solo com e sem compactação respectivamente.

Quanto à concentração de nitrogênio nos grãos, os tratamentos que receberam inoculação (MT8+MT15 e BR2367) apresentaram os maiores valores (Tabela 10).

Tabela 10. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na concentração de nitrogênio nos grãos de feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Concentração de nitrogênio na parte aérea (%)	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	21,6 Aa	21,7 Aa
MT8+MT15	22,0 Aa	22,8 Aa
Adubação nitrogenada	22,5 Aa	21,3 Aa
CV(%)= 16,8		
Tratamentos	Concentração de nitrogênio nos grãos (%)	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	45,1 Aa	45,0 Aa
MT8+MT15	46,3 Aa	43,4 Aa
Adubação nitrogenada	43,1 Aa	43,1 Aa
CV(%)= 9,5		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

Esses dados corroboram com os resultados dos autores Alves et al. (2003) que conduziram um ensaio com distintas classes de solos e níveis de compactação, verificando que a compactação não alterou na absorção de nitrogênio e que a maior concentração de nitrogênio nas plantas de feijão ocorreu no solo que obteve densidade de 2,12 Mg.m⁻³.

Em estudo realizado por Mandal et al. (1990) utilizando três níveis de compactação (moderado 1,79 kg dm⁻³, altamente compactado 1,85 kg dm⁻³ e sem compactação 1,52 k.dm⁻³) em um solo franco arenoso (680 g

kg⁻¹ de areia, 240 g kg⁻¹ de silte e 80 g kg⁻¹ de argila), verificaram que a perda de nitrato por lixiviação foi de três a quatro vezes menor no solo altamente compactado, quando comparado ao solo sem compactação.

Em relação à proteína bruta na parte aérea e nos grãos, os tratamentos não apresentaram diferença significativa. Contudo, os tratamentos que receberam adubação nitrogenada e a inoculação combinada das estirpes MT8+MT15 proporcionaram os maiores valores para essas variáveis (Tabela 11).

Tabela 11. Efeito da inoculação de estirpes de rizóbio na proteína bruta na parte aérea e nos grãos do feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Proteína bruta na parte aérea (%)	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	135,0 Aa	135,6 Aa
MT8+MT15	137,6 Aa	142,5 Aa
Adubação nitrogenada	140,9 Aa	133,6 Aa
CV(%)= 16,8		
Tratamentos	Proteína bruta nos grãos (%)	
	Com Compactação	Sem Compactação
BR3267	282,3 Aa	281,0 Aa
MT8+MT15	289,5 Aa	271,4 Aa
Adubação nitrogenada	269,9 Aa	269,8 Aa
CV(%)= 9,5		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05.

Resultados descritos por Costa et al. (2012), destacaram a eficiência da cepa UFLA 3-154 por apresentar a média 25,15% de incremento em relação aos demais tratamentos. Segundo esses autores, a concentração de proteína bruta reflete os teores de nitrogênio nas plantas.

Desse modo, as estirpes estudadas nesse ensaio demonstraram ser eficientes na absorção deste nutriente, por promover resultado semelhante as plantas adubadas com nitrogênio (150 mg dm^{-3}).

Segundo Brito et al. (2011), a FBN fornece a maior parte do nitrogênio acumulado nas plantas de feijão e caupi, seguida, em ordem decrescente, pelo solo e ureia. Em estudo realizado por Soares et al. (2006) os autores também verificaram que a estirpe INPA 03-11b de rizóbio proporcionou o maior valor no acúmulo de nitrogênio nos grãos em experimento realizado sob condições de campo.

4.13 Determinação da população de rizóbio no solo

No experimento em casa de vegetação, para determinar a população de rizóbio, constatou-se que todas as plantas inoculadas com suspensão de solo apresentaram nódulos em sua estrutura, sendo estimada a média de 88,11 a 119,44 nódulos por planta (Figura 17 e 18).

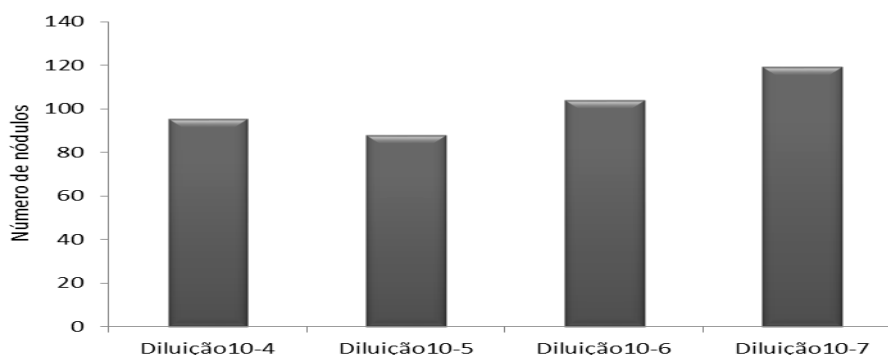


Figura 17. Determinação da população de rizóbio no solo utilizado para o experimento de inoculação em feijão caupi cultivado em solo com e sem compactação.



Figura 18. Análise visual de nódulos em todas as diluições (10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4}).

Em estudo realizado por Zilli et al. (2013), para determinar a população de rizóbios no solo utilizando soja e feijão caupi como plantas-isca, pôde-se constatar que as plantas de feijão caupi apresentaram nódulos em todas as coletas, confirmando os trabalhos realizados por autores como MARTINS et al. 2003; LIMA et al; 2005; CHAGAS JÚNIOR et al. 2009, que verificaram que essa cultura tem capacidade de nodular com bactérias nativas de solos brasileiros.

As Figuras 19 e 20 demonstram a presença de leghemoglobina, isto em função da coloração rósea encontrada no interior da porção central dos nódulos, indicando a ocorrência da fixação de nitrogênio. Segundo Ribeiro e Ramos (2010), a coloração serve como indício da eficiência da leghemoglobina que somente é sintetizada se existir simbiose entre a planta e a bactéria (ELLFOLK, 1972).



Figura 19. Observação visual da presença de leghemoglobina em nódulos de feijão caupi na diluição de 10^{-4} .



Figura 20. Observação visual da presença de leghemoglobina em nódulos de feijão caupi na diluição de 10^{-7} .

5. CONCLUSÃO

A inoculação da estirpe BR3267 contribuiu positivamente para o desenvolvimento do feijão caupi quando cultivado em solo sem compactação.

A compactação do solo não interferiu nas características produtivas e nutricionais do feijão caupi quando inoculado com a combinação das estirpes MT8+MT15.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo. **Ensaio de compactação**. NBR 3. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 11p.

ANDRADE-JUNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, J. C.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2002.

ALMEIDA, A. L. G.; ALCÂNTARA, R.M.C.M.; NÓBREGA, R. S. A.; LEITE, L. F. C. Produtividade do feijão-caupi cv BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. **Revista Brasileira Ciência Agrária**, Recife, v.5, n.3, p.364-369, 2010.

ALVES, V. G.; ANDRADE, M. J. B.; CORRÊA, J. B. D.; MORAES, A. R.; SILVA, M.V. Concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro (*phaseolus vulgaris* L.) em função da compactação e classes de solos. **Ciência agrotecnologia**., Lavras, V.27, n.1, p.44-53, jan./fev., 2003.

ANDRADE, D. S.; HAMAKAWA, P. J. 1994. Estimativa do número de células viáveis de rizóbio no solo e em inoculantes por infecção em plantas, p.63-94. In: Hungria, M.; Araújo, R.S. (Eds). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. EMBRAPA-SPI, Brasília, Distrito Federal.

ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 9-90.

ARAÚJO, F. F.; CARMONA, F. G.; TIRITAN, C. S.; CRESTE, J. E. Fixação biológica de N² no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 4, p. 535-540, 2007.

BASHAN, Y. Inoculants of plant growth-promoting bactéria for use in agriculture. **Biotechnology Advances**, v.16, n.4, p. 729-770, 1998.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681- 691, 2010.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E. F.; DILY, L. Propriedades físicas de um cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 91-95, 2000.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004.

BEZERRA, A. A. C. **Variabilidade e diversidade genética em caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi-ereto**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 1997.

BONELLI, E. A.; SILVA, E. M. B.; CABRAL, C. E. A.; Campos, J. J.; Scaramuzza, W. L. P.; Polizel, A. C. Compactação do solo: Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins piatã e mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.264-269, 2011.

BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, F. C. M.; DOURADO, L. G. A.; AGUERO, N. F. Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v.7,p.1-6, 2011.

BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; REGAZZI, A. J.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F. Respostas de variedade de soja a compactação de solo. **Revista Ceres**, 35: 553-568, 1988.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, v.30, p.365-372, 2000.

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**, Campinas, v. 70, n. 1, p.206-215, 2011.

CABALLERO, S. U. **Fixação biológica de nitrogênio**. Agência Embrapa e informação tecnológica. AGEITEC. 2015.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. 1997. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C4/Comp4.htm>>. Acesso em: 23/11/2015.

CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; Athayde Sobrinho, C. **Cultura do feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp) no Piauí: aspectos técnicos**. Teresina: EMBRAPA/UEPAE de Teresina,1999, 43p. Circular Técnica, 9.

CARDOSO, E. J. B; NOGUEIRA, M. A. **Microbiota do solo e qualidade ambiental/editoras Adriana Parada Dias da Silveira**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira.**, Brasília, v.41, n.3, p.493-501, mar. 2006

CARVALHO, E. A. de C. **Avaliação agrônômica da disponibilização de nitrogênio à cultura de feijão sob sistema de semeadura direta**. Piracicaba-SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2002.

CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores

foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:445-450, 2003.

CECCON, G.; PADILHA, N. S.; ZANON, E.M.; LEITE, L. F. **Feijão-caupi em mato grosso do sul**. III CONAC. Recife-PE. 2013.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; OLIVEIRA, L. A.; OLIVEIRA, A. N.; WILLERDING, A. L. Efetividade de rizóbios e caracterização fenotípica dos isolados que nodulam feijão-caupi em solos da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, 39: 489-494. 2009.

CHAGAS, A. F.; OLIVEIRA, L. A.; OLIVEIRA, A. N. Produção de ácido indolacético por rizóbios isolados de caupi. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n.6, p. 812-817, nov/dez, 2009

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:933-942, 2008.

COSTA, E. M.; MARTINS, L. V.; AQUINO, J. M.; NÓBREGA, S. A.; NÓBREGA, J. C. A.; MOREIRA, F. M. S.; FILHO, F. L. F.; SILVA, A. F. T. Eficiência agrônômica de cepas de rizóbio na produtividade de feijão-caupi em Bom Jesus, PI. **Anais..XXXIII Congresso brasileiro de ciência do solo**. 2012.

CREGAN, P. K. B.; BERKUM, P. Geneticsof nitrogen metabolismo and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v.67, p.97-111, 1984.

DAVIES, W. J.; TARDIEU, F.; TREJO, C. L. How do chemical signals work in plants that grow in drying soil. **Plant Physiol**, 104:309-314, 1994.

DILWORTH, M.; A. GLENN: How does a legume nodule work? **Trends in Biochem. Sciences** 9, 519-523, 1984.

DÖBEREINER, J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. **Estudos Avançados**, 1990, vol.4, n.8, pp. 144-152.

DOLAN, M. S.; DOWDY, R. H.; VOORHEES, W. B.; JOHNSON, J. F.; BIDWELL-SCHRADER, A. M. Corn phosphorus and potassium uptake in response to soil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, 84:639-642, 1992.

ELLFOLK, N. Leghaemoglobin, a plant haemoglobin. **Endeavour**, Oxford, v. 31, p. 39-142. 1972.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 212 p. 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FAGUNDES, E. A. A.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 188-193, 2014.

FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; PIETRO-SOUZA, W.; VILARINHO, M. K. C.; SILVA, T. J.; GUIMARÃES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.17, n.5, p.497–503, 2013.

FERNANDES, M. F.; FERNANDES, R. P. M.; HUNGRIA, M. Seleção de rizóbios nativos para guandu, caupi e feijão-de-porco nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 38, n. 7, p. 835-842, 2003.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análise e ensino de estatística. Reserva Symposium. Lavras, v. 3, p. 317-345, 2008.

FERREIRA, A.N.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C.; ARAÚJO, R.S.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.57, n.3, p. 507-512, 2000.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 38:947-953, 2003.

FRED, E. B.; WALKSMAN, S. A. Laboratory Manual of General Microbiology with Special Reference to the Microorganisms of the Soil. **Mc-Graw-Hill Book Company**. New York, 1928.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília. Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519 p.

FREIRE FILHO, F.R. (Ed.). **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2011. 84p.

FRIGO, G.R. ; GUIMARAES, S. L. ; BONFIM-SILVA, E. M. ; POLIZEL, A. C. The inoculation of cowpeaculture with rhizobail lineage in Brazilian Cerrado Region. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, p. 3150-3156, 2014.

FROTA, A. B.; PEREIRA, P. R. Caracterização da produção do feijão caupi na região Meio Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (ed). **A Cultura do Feijão Caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2000. p. 9-25.

GARRITY, G. M.; HOLT, J. G. The road map to the Manual. In: BOONE, D.R.; CATENHOLZ, R.W., eds. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. New York, **Springer-Verlag**, v.1., p.119-166, 2001.

GIAROLA, N .F. B.; BRACHTVOGEL, E. L.; FONTANIVA, S.; PEREIRA, R. A; FIOREZE, S. L. Cultivares de soja sob plantio direto em Latossolo

Vermelho compactado. **Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 4, p. 641-646, 2009.

GIL, P. T; FONTES P.C. R; CECON P. R; FERREIRA F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira** 20: 611-615. 2002.

GOMES, J. E. ; MACEDO, L. G. R. ; VENTURIN, N. ; MORAIS, V. M. ; SALGADO, B. G. ; JUNIOR, C. E. I. ;CARVALHO, E. Resistência à penetração do solo em sistemas de plantio de tectona grandis L. I (teca) no cerrado do estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Paracatu v.1, n. 3, p. 1- 18, 2005.

GUEDES, G. N.; SOUZA, A. S.; LIMA, A. S.; ALVES, L. S. Eficiência agronômica de inoculantes em feijão-caupi no município de pombal – PB. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.4, p. 82 - 89 outubro/dezembro de 2010.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.213-218, 2002.

GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.703-707, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: EMBRAPA Soja, 80p. 2007.

JESUS, P.C. **Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura-pecuária em área sob plantio direto**. 2006. 47p. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) Universidade Federal de Santa Catarina. Lages, 2006.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L., FÁBIO R. PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p.116-121, 2008.

JOHNSON, J. F.; VOORHEES, W. B.; NELSON, W. W.; RANDALL, G. W. Soybean growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, 82:973-979, 1990.

LIMA, A. S.; PEREIRA, J. P. A. R.; MOREIRA, F. M. S. Diversidade fenotípica e eficiência simbiótica de estirpes de *bradyrhizobium* spp. de solos da amazônia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 40: 1095-1104. 2005.

LYNCH, J.M. & WHIPPS, J.M. Substrate flow in the rizosphere. **Plant and Soil**, 129: 1-10. 1990.

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

MANDAL, D.K.; KAR, S. & SHARMA, S.K. Effect of compaction on nitrogen mobility in coarse textured lateritic soil. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, 38(1): 145-147, 1990.

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**, 38: 333-339. 2003.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 144, p. 297-303, 1992.

MARTINS, L.M.V.; NEVES, M.C.P.; RUMJANEK, N.G. Growth characteristics and symbiotic efficiency of rhizobia isolated from cowpea nodules of the northeast region of Brazil. **Soil Biological and Biochemistry**, v.29, n.5-6, p.1005-1110, 1997.

MIFLIN, B.J.; HABASH, D.Z. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. **Journal of Experimental of Botany**, v. 53, p. 979–987, 2002.

MODOLO, A.J.; TROGELLO, E.; NUNES, A.L.; SILVEIRA, J.C.M.; KOLLING, E.M. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 89-95, 2011.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F.C.; LOVERA, L.H.; HONORATO, M.A.O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1811-1822, 2010.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, 54:393-403, 1995.

MULHOLLAND, B.J.; BLACK, C.R.; TAYLOR, I.B; ROBERTS, J.A. & LENTON, J.R. Effect of soil compaction on barley (*Hordeum vulgare* L.) growth. I. Possible role for ABA as a root-sourced chemical signal. *J. Exp. Bot.*, 47:539-549, 1996.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; SOBRINHO, J. T. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura brasileira.**, v. 22, n. 2, abr.-jun. 2004.

NASCIMENTO, J.B.; CARVALHO, G.D.; MENDONÇA, L.; MOREIRA, C.A.; LEANDRO, W.M. Análise da compactação do solo, em áreas sob manejo

sustentável no entorno de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Out. 2007.

NASCIMENTO, S.P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 109 f. Dissertação (Mestrado em agronomia)- Universidade Federal do Piauí centro de Ciências Agrárias. 2009.

NOGUEIRA, S. S. S.; MANFREDINI, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.18, n.9, p.973-976, 1983.

NORRIS, D.O.T.; Mannetje, L. The symbiotic specialization of African Trifolium spp. in relation to their taxonomy and their agronomic use. **East African Agricultural and Forest Journal**, v.29, n.2, p. 214-235, 1964.

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

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

OLIVEIRA, I. P.; DANTAS, J. P. Nutrição mineral do caupi. In: ARAÚJO, J.P.P. de; WATT, E.E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Ibadan/Brasília: International Institute of Tropical Agriculture/Embrapa, 1988. p. 405-430.

PADULOSI, S.; N.G, N. Q. Origin, taxonomy and morphology of Vigna unguiculata (L.) Walp. In: SINGH, B. B., MOHAN RAJ, D. R., DASHIELL, K., JACKAI, L. E. N. Advances in Cowpea Research. **Copublication of International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Centre for Agricultural Sciences (JIRCAS)**, IITA, Ibadan, Nigeria. p. 1-12, 1997.

PAIVA, J. B.; PITOMBEIRA, J. B.; BEZERRA, F. F.; ALMEIDA, F. C. G.; MACIEL, R. F. P.; OLIVEIRA H. G. de; QUEROZ, G. M.; PINHO, J. L. N. de; PAULA, A. F.; BENEVIDES, E. C. **Feijão de corda**. Fortaleza: UFCCCA, 1972. p.14.

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. Aust. J. **Soil Research.**, 29:717-728, 1991.

PAU, R. N.; MITCHENALL, L. A.; ROBSON, R. L. Genetic evidence for an *Azotobacter vinelandii* nitrogenase lacking molybdenum and vanadium. *Journal of Bacteriology*, Washington, v. 171, p. 124-129, 1989. In: REIS, V. M.; TEIXEIRA, K. R. S.; **Fixação Biológica de Nitrogênio** – Estado da Arte. Embrapa, 2006.

PEDROTTI, A.; DIAS JUNIOR, M.S. **Compactação do solo: Como evitá-la**. *Agropecuária Catarinense*, 9:50-52, 1996.

PESSOA A, A.; OLIVEIRA, L. A.; FERREIRA, R. B.; SILVA, R. R.; ALVES, S. M. F. Desenvolvimento da cultura do feijão decorrente de diferentes níveis de compactação do solo. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 5 82, 2012.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.929-938, 2000.

RAIJ B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELINAZZI JÚNIOR, R; DECHEN, A .R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1985. 107p. (Boletim Técnico, 100).

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008.

RIBEIRO JUNIOR, W.Q.; RAMOS, M.L.G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para adubação verde. In COLETTA, L.D. **Estudos da fixação biológica de nitrogênio em leguminosas (família Fabaceae) arbóreas tropicais através do enriquecimento isotópico do ^{15}N** . Dissertação- USP. 2010.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O, R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

ROCHA, M. de M. et al. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 270 - 275, 2009.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.23, n.2, p.259-266, 1994.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 18:491- 497, 1994.

SAMPAIO, C.B.V.; REZENDE, J.O.; SAMPAIO, L.S.V.; COSTA, J.A.; SAMPAIO, C.V. Utilização do feijão caupi (*Vigna unguiculata*) como planta indicadora dos efeitos de subsolagem mecânica e biológica num Latossolo Amarelo álico coeso representativo do nordeste brasileiro. 1995.

SANTOS, A.; CECCON, G.; NETO, A. L. N.; ROCHA, M. M.; Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi em Mato Grosso do Sul. III CONAC – Congresso Nacional de Feijão-Caupi. **Anais...** Recife-PE. 2013.

SILVA, K; J; D. **Estatística da produção de feijão-caupi**. Disponível em:http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijaocaupi/arvore/CONTAG01_16_510200683536.html. Acesso dia 09 de abril de 2015.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F. de; VITORINO, A. C. T.; e GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia, Campinas**, v. 70, n. 1, p. 147-156, 2011.

SILVA, P. C. C; COUTO, J.L; SANTOS, A.R. Efeito dos Íons Amônio e Nitrato no Desenvolvimento do Girassol em Solução Nutritiva. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.17, n.1, p. 104-114. 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, R.T.L.; ANDRADE, D.P.; MELO, E.C.; PALHETA, E.C.V.; GOMES, M.A.F. Inoculação e adubação mineral na cultura do feijão – caupi em Latossolos da Amazônia oriental. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 152-156, out.-dez., 2011.

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

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1269-1275, 2001.

SINIMBU, F. **Feijão-caupi conquista mercado internacional**. Embrapa Meio-Norte. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2006738/feijao-caupi-conquista-mercado-internacional>>. Acesso em: 30 de nov. 2015.

SINGH, B.B.; EHLERS, J.D., SHARMA, B, & FREIRE FILHO. Recent progress in cowpea breeding. In. FATOKUM, C. A., S. A TARAWALI, B. B. SINGH, P. M. KORMAWA, AND M. TAMÓ (editors). Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 4-8, 2002.

SINGH, A.; SINGH, J.N. & TRIPATHI, S.K. Effect of soil compaction on the growth of soybean. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, 41:422- 426, 1971.

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

STAPLES, R.C.; TOENNIESSEN, G.R. Plant disease control. New York: Wiley, p.221-234, 1981.

STONE, L. R.; TEARE, I. D.; MICKELL, C. D.; MAYAKI, W. C. Soybean root development and soil water depletion. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.677-680, 1976.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42:1159-1167, 2007.

SUN, C.N. Growth and development of primary tissues in aerated and non-aerated roots of soybean. Bulletin of the **Torrey Botanical Club**, Lancaster, v.82, n.6, p.491-502, 1955.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719 2004.

VIANA, E.F. **Compactação do solo: alteração nos atributos físicos, químicos e biológicos de um Neossolo Flúvico**. 120p. Tese (Doutorado. em tecnologias energéticas e nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

VEIHMEYER, F.J., HENDRICKSON, A.H. Soil density and root penetration. **Soil Science**, v.65, sp.487-493, 1948.

WAKSMAN, S.A. Soil microbiology. London: **John Wiley**, 1963 356p.

ZILLI, J. E.; PEREIRA, G. M.D.; FRANÇA JÚNIOR, I.; SILVA, K.; HUNGRIA, M.; ROUWS, J.R.C. Dinâmica de rizóbios em solo do cerrado de Roraima durante o período de estiagem. **Acta Amazonica**. 43(2) 153 – 160, 2013.

ZILLI, J.E.; NETO, M.L.S.; JUNIOR, I.F.; PERIN, L.; MELO, A.R. Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 35:739-742, 2011.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR., R.S.; TORMENA, C.A.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S.D.; ALONSO, D.G.; BRIGHENTI, A.M.; e CASTRO, C. Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo. **Planta Daninha**. Viçosa-MG, v.25, n. 3, p. 537-545, 2007.