

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

LAURA CRISTINA REZENDE DAS NEVES

AMENDOIM INOCULADO COM RIZÓBIO E COINOCULADO COM Azospirillum brasilense EM SOLO COM E SEM COMPACTAÇÃO

RONDONÓPOLIS - MT, 2018.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

LAURACRISTINA REZENDE DAS NEVES

AMENDOIM INOCULADO COM RIZÓBIO E COINOCULADO COM Azospirillum brasilense EM SOLO COM E SEM COMPACTAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Salomão Lima Guimarães

RONDONÓPOLIS - MT, 2018.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

N518a Neves, Laura Cristina Rezende das.

Amendoim inoculado com rizóbio e coinoculado com Azospirillum brasilense em solo com e sem compactação / Laura Cristina Rezende das Neves. -- 2018

121 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, 2018. Inclui bibliografia.

1. Arachis hypogaea L. 2. bactérias nodulíferas. 3. bactérias associativas. 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 CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

AMENDOIM INOCULADO COM RIZÓBIO E COINOCULADO COM Azospirillum brasilense EM SOLO COM E SEM COMPACTAÇÃO

AUTORA: LAURA CRISTINA REZENDE DAS NEVES

Dissertação defendida e aprovada em 12 de julho de 2018.

Presidente da Banca / Orientador: Prof. Doutor Salomão Lima Guimarães Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

> Examinador Interno: Prof. Doutor Marcio Koetz Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Externo: Prof. Doutor Erineudo de Lima Canuto Instituto Federal de Mato Grosso/ Câmpus de São Vicente

Rondonópolis - MT, 12/07/2018.

Ao meu esposo Danilo Rossi
A minha filha Yasmin
Aos meus pais Luiz e Eva
Aos meus irmãos Luciano Ramiro e Luiz Ramiro
Ao meu sobrinho Tácio Ramiro
Aos meus sogros Luiz e Lucimara
A minha avó Maria do Carmo
Em memória de minha avó Margarida e do meu tio Jacob
Em memória dos meus avôs Ramiro e Pedro Jacob
Em memória de meu primo Mathias.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre no comando, por me dar a vida e por me guiar na conquista desse tão sonhado título.

Ao meu esposo Danilo Rossi, por todo o apoio, amor, compreensão, ajuda e incentivo para essa conquista em minha vida.

A minha filha Yasmin, meu maior presente, minha razão de viver e de ser uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus pais, Luiz e Eva, pela ajuda e amor, por serem minha base e por cuidarem da Yasmin para que eu pudesse concretizar esse sonho.

Aos meus irmãos, Luciano Ramiro e Luiz Ramiro, por estarem sempre ao meu lado.

A minha avó Maria do Carmo pelo exemplo de vida.

Ao meu orientador, Dr. Salomão Lima Guimarães pelo carinho, amizade ao longo desses anos e pelo respeito profissional, apoio e orientação durante esses dois anos do mestrado.

Á professora Dra. Edna Maria Bonfim-Silva, pelos conselhos e por toda ajuda prestada durante o mestrado.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, professor Dr. Tonny José Araújo da Silva pela dedicação ao programa e aos mestrandos e por todo o auxílio que me foi dado.

À professora Dra. Analy Castilho Polizel pela ajuda sempre que solicitada.

Aos meus colegas de turma, İcaro Camargo, Olivia Paula, Jackeline Laroca, Edson Godoy, José Roberto, Andressa Garcia e Luiz Fernando, com os quais tive o prazer de conviver e aprender nesses dois anos de mestrado e com os quais quero manter amizade pelo resto de minha vida.

À colega Maiza Longo Mussato por me ajudar a conseguir as sementes para a execução desse experimento.

Aos meus colegas do grupo de Microbiologia Ambiental, especialmente à Clara e ao Phellype pela ajuda em várias etapas do experimento.

À amiga Sharrine Marra pelas nossas conversas e por me doar o inseticida.

Ao Túlio Martinez por compartilhar comigo conhecimento.

Ao Thiago Castañon pelas nossas conversas científicas e pela ajuda sempre que solicitada.

À Universidade Federal de Mato Grosso – Câmpus de Rondonópolis por meio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola por possibilitar a realização do mestrado

Ao Grupo de Práticas em Água e Solo (GPAS) por me ajudarem na coleta de solo.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela paciência, dedicação e ensinamentos disponibilizados aos alunos do mestrado.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao laboratório de Solos e seus responsáveis por disponibilizar equipamentos e estrutura física para a realização de algumas análises.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com essa pesquisa.

MUITO OBRIGADA!



RESUMO

O amendoim é uma leguminosa rica em óleo, vitaminas, proteínas, sais minerais, sendo utilizada para diversos fins. Estudos para essa cultura são importantes para verificar qual é o grau de adaptação e qual é a capacidade produtiva do amendoim quando submetido a algum estresse, como por exemplo, a compactação. A compactação provoca uma série de problemas, como por exemplo, dificulta a absorção de água e de nutrientes pelas plantas. Uma alternativa para minimizar os impactos desse processo é o uso de micro-organismos fixadores de nitrogênio e promotores de crescimento de plantas, com o intuito de avaliar se a inoculação isolada ou combinada poderia trazer efeitos benéficos ao amendoim em solo compactado. O objetivo desse estudo foi verificar o efeito da inoculação com rizóbio e da coinoculação com Azospirillum brasilense em amendoim cultivado em Latossolo Vermelho do Cerrado com e sem compactação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 5x2, com 4 repetições, totalizando 40 vasos. Os tratamentos foram compostos por inoculante comercial para amendoim (Bradyrhizobium elkanii, estirpe SEMIA 6144); estirpe MT 15 (Rhizobium tropici); MT 15 + inoculante comercial com A. brasilense; testemunha nitrogenada e testemunha absoluta (sem NPK e micronutrientes e sem inoculação) em solo com e sem compactação. As variáveis analisadas foram altura de plantas, número de folhas, número de ramos por planta, diâmetro de caule, índice de clorofila Falker, massa seca da parte aérea, massa seca de raiz por camada e total, massa seca total, relação massa seca da parte aérea por massa seca de raiz, volume de raiz por camada e total, número e massa seca de nódulos por camada e total, número de vagens, número de grãos, massa seca dos grãos, concentração de nitrogênio na parte aérea e nos grãos, proteína bruta e acúmulo de nitrogênio na parte aérea e nos grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos ao Teste de Tukey a até 5% de probabilidade por meio do Programa estatístico SISVAR. A inoculação com a estirpe MT15 e a coinoculação com A. brasilense proporcionaram à cultura do amendoim bom desempenho em relação às características fitométricas, produtivas e relacionadas à eficiência da fixação biológica de nitrogênio em solo compactado e não compactado.

Palavras-chave: Arachis hypogaea L.; bactérias nodulíferas, bactérias associativas.

ABSTRACT

Peanut is a legume rich in oil, vitamins, proteins, minerals, and is used for various purposes. Studies for this crop are important to verify the degree of adaptation and the productive capacity of the peanut when subjected to some stress, such as compaction. Compaction causes a number of problems, such as hinders the absorption of water and nutrients by plants. An alternative to minimize the impacts of this process is the use of nitrogen-fixing microorganisms and plant growth promoters. with the purpose of evaluating whether isolated or combined inoculation could bring beneficial effects to peanuts in compacted soil. The objective of this study was to verify the effect of inoculation with rhizobia and the co-inoculation with Azospirillum brasilense on peanut cultivated in Cerrado Oxisol with and without compaction. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design in a 5x2 factorial scheme, with 4 replications, totaling 40 vessels. The treatments were composed of commercial peanut inoculant (Bradyrhizobium elkanii, strain SEMIA 6144): strain MT 15 (Rhizobium tropici); MT 15 + commercial inoculant with A. brasilense; nitrogen control and absolute control (without NPK and micronutrients and without inoculation) in soil with and without compaction. The variables analyzed were plant height, leaf number, number of branches per plant, stem diameter, Falker chlorophyll index, shoot dry weight, root dry matter per layer and total dry mass, dry mass ratio aerial part by root dry matter, root volume per layer and total, number and dry mass of nodules per layer and total, number of pods, number of grains, dry mass of the grains, nitrogen concentration in shoot and in the grains, crude protein and accumulation of nitrogen in the aerial part and in the grains. The data were submitted to analysis of variance and when significant to the Tukey test up to 5% of probability by means of the SISVAR Statistical Program. The inoculation with the MT15 strain and the co-inoculation with A. brasilense provided the peanut crop with good performance in relation to the phytometric characteristics, productive and related to the biological nitrogen fixation efficiency in compacted and uncompacted soil.

Key words: Arachis hypogaea L., noduliferous bacteria, associative bacteria.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Aspectos gerais da cultura do amendoim (Arachis hypogaea L.)	17
2.2. Mercado econômico do amendoim	
2.3. Compactação do solo	24
2.4. Nitrogênio	
2.5. Fixação biológica de nitrogênio	
2.6. Bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas	
2.7. Bactérias fixadoras de nitrogênio associativas	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1. Localização do experimento	36
3.2. Coleta, caracterização, correção da acidez e adubação do solo	
3.3. Implantação das unidades experimentais	39
3.4. Semeadura e manutenção da umidade	42
3.5. Multiplicação e inoculação das estirpes de rizóbio e coinoculação	
Azospirillum brasilense	
3.6. Delineamento experimental e tratamentos	
3.7. Controle fitossanitário	
3.8. Variáveis analisadas	
3.9. Análises estatísticas	
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1. Altura de plantas	
4.2. Número de folhas	
4.3. Número de ramos por planta	
4.4. Diâmetro de caule	
4.5.Índice de clorofila Falker	
4.6. Massa seca da parte aérea	
4.7. Massa seca de raiz por camada	
4.8. Massa seca de raiz total	
4.9. Massa seca total	
4.11. Volume de raiz por camada	
4.12. Volume de raiz total	
4.13. Número de nódulos por camada	
4.14. Número de nódulos total	
4.15. Massa seca de nódulos por camada	

4.16. Massa seca de nódulos total	83
4.17. Número de vagens	84
4.18. Número de grãos	86
4.19. Massa seca dos grãos	87
4.20. Concentração de nitrogênio e proteína bruta na parte aérea	89
4.21. Concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos	90
4.22. Acúmulo de nitrogênio na parte aérea e nos grãos	91
5. CONCLUSÕES	94
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espécie, subespécies, variedades botânicas e grupos vegetativos do
amendoim (Adaptado de HERSELMAN, 2003)18 Figura 2 – Temperaturas média, máxima e mínima registradas durante a execução
do experimento
Figura 3 - Umidades média, máxima e mínima registradas durante a execução do
experimento37
Figura 4 – Adubação com solução de micronutrientes
Figura 5 – Esquema ilustrativo da montagem das unidades experimentais39
Figura 6 – Unidade experimental com os anéis unidos com a fita "silver tape"40 Figura 7 – Montagem do anel inferior: a) anel com a tela fixada com a câmera de ar e
com o prato servindo como fundo do recipiente; b) anel preenchido com 2 cm de
brita; c) anel com a brita e uma proteção com a tela (Sombrite [®])40
Figura 8 - Prensa hidráulica usada para a compactação do solo inserido no ane
central42
Figura 9 – Semeadura das sementes de amendoim nas unidades experimentais42
Figura 10 – a) estirpe de rizóbio MT 15; b) inoculante comercial contendo
Azospirillum brasilense
Figura 11 – Inoculação com a estirpe MT 15 próximo às raízes de cada planta44 Figura 12 – Peletização das sementes de amendoim com o inoculante comercial44
Figura 13 – Vista geral do experimento aos 2 dias após a emergência das plantas.
Figura 14 - Vista geral do experimento: a) aos 30 dias após a emergência das
plantas, já com as primeiras flores; b) flor de amendoim45
Figura 15 – Vista geral do experimento aos 60 dias após a emergência
Figura 16 – Vista geral do experimento aos 90 dias após a emergência
Figura 17 – Comparativo entre os tratamentos aos 60 dias em solo compactado46 Figura 18 – Comparativo entre os tratamentos aos 60 dias em solo não compactado.
Figura 19 - Comparativo entre os tratamentos aos 90 dias em solo compactado47
Figura 20 - Comparativo entre os tratamentos aos 90 dias em solo não compactado.
47
Figura 21 – Infestação com tripes: a, b, c, sintomas encontrados nas plantas; d
inseto tripes-do-prateamento sob uma folha
com mancha-barrenta; c) galhos secos retirados de algumas plantas acometidas
pela murcha de <i>Sclerotium</i> ; d) planta morta pela murcha de <i>Sclerotium</i> 49
Figura 23 - Plantas com infestação por ácaro rajado: a) folhas no início da
infestação; b) plantas no final do ciclo e com infestação no ápice50
Figura 24 - Raízes de plantas inoculadas com a estirpe MT 15 em solo compactado
mostrando o desenvolvimento de raízes laterais mais finas: a) camada do anel
superior; b) camada do anel inferior
inferior) mostrando o desenvolvimento de raízes laterais mais finas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Maiores produtores de amendoim
Tabela 2 – Estados brasileiros com maior produção de amendoim20
Tabela 3 – Cultivares de amendoim registradas no MAPA até o ano de 201722
Tabela 4 - Análises químicas e granulométricas do solo usado no experimento37
Tabela 5 - Altura de plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e
coinoculação com A. brasilense em solo com e sem compactação
Tabela 6 - Altura de plantas de amendoim em função da condição de solo, com e
sem compactação56
Tabela 7- Número de folhas de plantas de amendoim em função da inoculação com
rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem compactação58
Tabela 8 - Número de ramos de plantas de amendoim em função da inoculação
com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem compactação60
Tabela 9 - Diâmetro de caule de plantas de amendoim em função da inoculação
com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem compactação62
Tabela 10 - Índice de clorofila Falker em plantas de amendoim em função da
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação63 Tabela 11 – Índice de clorofila Falker em plantas de amendoim, aos 60 dias após a
emergência, em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense
em solo com e sem compactação64
Tabela 12 - Massa seca da parte aérea de plantas de amendoim em função da
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
inoculação com rizóbio e coinoculação com <i>A. brasilense</i> em solo com e sem compactação
Tabela 13 - Massa seca de raiz por camada em plantas de amendoim em função da
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação68 Tabela 14 – Massa seca de raiz por camada em plantas de amendoim em função da
condição de solo, com e sem compactação68
Tabela 15 - Massa seca de raiz total em plantas de amendoim em função da
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação70
Tabela 16 - Massa seca de raiz total em plantas de amendoim em função da
condição de solo, com e sem compactação70
Tabela 17 - Massa seca total em plantas de amendoim em função da inoculação
com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem compactação72
Tabela 18 - Relação massa seca da parte aérea pela massa seca de raiz em
plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação73
Tabela 19 - Volume de raiz por camada em plantas de amendoim em função da
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação74
Tabela 20 - Volume de raiz por camada em plantas de amendoim em função da
condição de solo, com e sem compactação75
Tabela 21 Volume de raiz total em plantas de amendoim em função da inoculação
com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem compactação76
Tabela 22 - Volume de raiz total em plantas de amendoim em função da condição
de solo, com e sem compactação76

Tabela 23 - Número de nódulos nas camadas 1 e 3 em plantas de amendoim em
função da inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e
sem compactação78
Tabela 24 - Número de nódulos na camada 2 em plantas de amendoim em função
da inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação80
Tabela 26 - Número de nódulos total em plantas de amendoim em função da
condição de solo, com e sem compactação80
Tabela 27 - Massa seca de nódulos por camada em plantas de amendoim em
função da inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e
sem compactação82
Tabela 28 - Massa seca de nódulos por camada em plantas de amendoim em
função da condição de solo, com e sem compactação82
Tabela 29 - Massa seca de nódulos total em plantas de amendoim em função da
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação83 Tabela 30 – Número de vagens em plantas de amendoim em função da inoculação
com rizóbio e coinoculação com <i>A. brasilense</i> em solo com e sem compactação85
Tabela 31 – Número de vagens em plantas de amendoim em função da condição de
solo, com e sem compactação85
Tabela 32 - Número de grãos em plantas de amendoim em função da inoculação
com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem compactação86
Tabela 33 - Número de grãos em plantas de amendoim em função da condição de
solo, com e sem compactação86
Tabela 34 - Massa seca dos grãos em plantas de amendoim em função da
inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação
de solo, com e sem compactação88
Tabela 36 - Concentração de nitrogênio e proteína bruta na parte aérea em plantas
de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação89
Tabela 37 - Concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos em plantas de
amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação90
Tabela 38 - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea em plantas de amendoim em
função da inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e
sem compactação92
Tabela 39 - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea em plantas de amendoim em
função da condição de solo, com e sem compactação92
Tabela 40 - Acúmulo de nitrogênio nos grãos em plantas de amendoim em função
da inoculação com rizóbio e coinoculação com A. brasilense em solo com e sem
compactação92

1. INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma leguminosa rica em óleo, proteínas, vitaminas, carboidratos e sais minerais e pode ser consumido "in natura" ou usado na indústria de alimentos, para extração de óleo, fabricação de produtos medicinais e rações (LIMA, 2011).

É a quarta oleaginosa mais produzida no mundo, sendo a China o maior produtor (USDA, 2018). No Brasil, a região Sudeste é a maior produtora, com destaque para o Estado de São Paulo, sendo que as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, possuem uma pequena produção (SIZENANDO 2015; SIZENANDO et al., 2016; CONAB, 2018) porém com grande potencial para sua expansão.

Assim, pela importância da cultura é imprescindível promover estudos dos fatores que podem influenciar tanto na adaptação quanto na capacidade produtiva do amendoim.

Dentre esses fatores, tem-se o processo de compactação do solo que altera o balanço entre macro e microporos, influenciando a porosidade total do solo (BEUTLER; CENTURION, 2004; BERGAMIN et al., 2010). Além disso, há o aumento da resistência mecânica do solo (FREDDI et al., 2007), a redução da infiltração (JUNIOR; ESTANISLAU, 1999), da penetração das raízes (BENGOUGH et al., 1997), alteração do equilíbrio na proporção de gases do solo e da disponibilidade de água e nutrientes às raízes das plantas (STIRZAKER et al., 1996; HAKANSSON; VOORHEES, 1998), fazendo com que haja alteração no seu funcionamento bioquímico, restringindo o crescimento da parte aérea (TURNER, 1997) e a produção da cultura (BEUTLER; CENTURION, 2004).

Uma alternativa para esse processo seria o uso de micro-organismos, principalmente os fixadores de nitrogênio e os promotores de crescimento de plantas, com a finalidade de avaliar os benefícios que a inoculação e a coinoculação poderiam trazer às plantas em ambiente compactado.

Os rizóbios por meio da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) podem aumentar a produtividade das culturas, diminuir os custos de produção frente ao uso dos adubos nitrogenados, além de reduzirem os danos ao meio ambiente (BRATTI et al., 2005; MELO, 2009). Os promotores de crescimento, além da FBN, produzem hormônios que promovem o crescimento das plantas e raízes, suprindo-as com mais água e nutrientes presentes no solo (BASHAN et al., 2004; MOREIRA; SIQUEIRA,

2006).

Desse modo, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da inoculação com rizóbio e da coinoculação com *A. brasilense* em amendoim cultivado em Latossolo Vermelho do Cerrado com e sem compactação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura do amendoim (Arachis hypogaea L.)

O amendoim é originário da América do Sul, da região dos vales dos Rios Paraná e Paraguai, abrangendo Brasil, Bolívia, Argentina, Paraguai e Uruguai (FÁVERO et al., 2006; LOZANO, 2016; SIZENANDO et al., 2016). Os índios brasileiros já conheciam o amendoim antes dos portugueses chegarem ao Brasil e o chamavam de *Mandubi*, *Mandobim* e *Manobi* (LIMA, 2011). Quando já muito conhecido na Europa, recebeu o nome de amendoi (por causa do gosto semelhante ao das amêndoas) e, posteriormente, foi chamado de amendoim (MARTIN, 1985; LIMA 2011).

É uma leguminosa dicotiledônea que pertence ao Reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae e gênero Arachis. (CRONQUIST, 1981; LOZANO, 2016; MESSA et al., 2017). Possui mais de 70 espécies já identificadas dentro do gênero Arachis sendo 48 nativas do Brasil (KRAPOVICKAS; GREGORY, 1994; SIZENANDO, 2015; LOZANO 2016). As espécies mais importantes são *Arachis hypogaea* L., que é a mais cultivada, *Arachis prostrata* Benth e *Arachis nhambiquare* Hoehne (FREITAS et al., 2003).

A espécie *A. hypogaea* L. tem sua classificação baseada na ausência ou presença de flores em seu eixo principal em duas subespécies, *hypogaea* e *fastigiata* e, dentro destas, encontram-se seis variedades botânicas (*hypogaea*, *hirsuta*, *fastigiata*, *vulgaris*, *aequatoriana* e *peruviana*) (KRAPOVICKAS; GREGORY, 1994; BORGES, 2006; SIZENANDO, 2015). Dentro das variedades botânicas têmse os grupos vegetativos nos quais estão as cultivares de amendoim existentes mundialmente, sendo Virgínia, Valência e Spanish, os grupos vegetativos mais comerciais (Figura 1) (SIZENANDO, 2015; LOZANO, 2016).

O grupo Virgínia apresenta exemplares rasteiros ("runners") e arbustivos ("bunch") com ramificação abundante, ciclo longo entre 120 e 150 dias, ausência de flores na haste principal e frutos grandes contendo duas sementes que possuem tempo de dormência (BORGES, 2006; BULGARELLI, 2008; GODOY, 2016). Os grupos Valência e Spanish possuem haste principal e ramificações com flores,

crescimento ereto ou semiereto, ciclo curto de 90 a 110 dias e frutos pequenos com duas sementes (Spanish) ou longos com duas a quatro sementes (Valência), sem período de dormência para ambos os grupos (GODOY et al., 2005; BORGES, 2006; GODOY, 2016). Para o consumo in natura usam-se as cultivares do tipo Valência e Spanish por terem grãos médios de coloração vermelha e, para a confeitaria, a preferência é pelos grãos grandes e de cor bege dos exemplares rasteiros do tipo Virgínia (SANTOS, 2000).

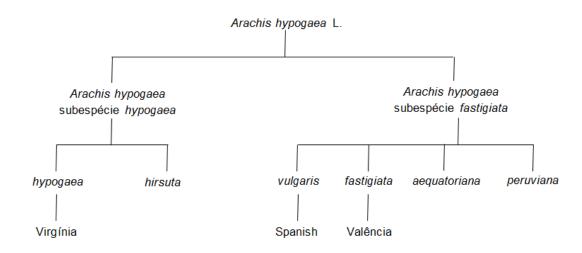


Figura 1 – Espécie, subespécies, variedades botânicas e grupos vegetativos do amendoim (Adaptado de HERSELMAN, 2003).

O amendoim possui folhas compostas e pinadas, flores amarelas, hermafroditas e autógamas (GODOY, 2016). Seu processo de frutificação é tido como geocarpia, no qual a flor aérea após a fecundação gera o ginóforo (com geotropismo positivo) que na profundidade de 5 a 10 cm no solo originará os frutos e sementes (GODOY et al., 2005; BORGES, 2006; BULGARELLI, 2008; DIAS, 2013; GODOY, 2016). Seus frutos são classificados botanicamente como legume (BULGARELLI, 2008; GODOY, 2016).

Seu sistema radicular é formado por raiz pivotante com ramificações laterais o que permite uma maior exploração da umidade do solo e um crescimento inicial acelerado (BULGARELLI, 2008; GODOY, 2016). Apesar das raízes do amendoinzeiro poderem atingir grandes profundidades, para Krans et al. (1980), 60% do sistema radicular encontra-se na camada de 0 a 30 cm do solo e para Pinto

et al. (2008), as raízes do amendoim se concentram de 0 a 25 cm de profundidade. Além disso, em suas raízes desenvolvem-se estruturas chamadas de nódulos, indicando a presença de bactérias fixadoras de nitrogênio (MOREIRA, 2012; FERREIRA, 2015).

Pode ser cultivado tanto em regiões tropicais como em subtropicais, exceto em locais com umidade excessiva (FAGUNDES, 2002). Apresenta melhor desenvolvimento em solos de textura média, bem drenados, soltos e com boa aeração de modo a favorecer o desenvolvimento de raízes e frutos e o suprimento de oxigênio para a fixação biológica de nitrogênio (LIMA, 2011; NETO et al., 2012; SIZENANDO, 2015).

Para atingir alta produtividade, boa qualidade e atender a demanda nutricional da cultura, os grandes produtores utilizam fertilizantes químicos cujos preços são elevados, inviabilizando para o pequeno produtor (SIZENANDO, 2015). Além disso, o uso desses fertilizantes, especialmente o nitrogênio, de forma inadequada pode acarretar sérios danos ambientais (SMIL, 1997; GUIMARÃES, 2006).

2.2. Mercado econômico do amendoim

A importância econômica do amendoim deve-se a sua composição lipídica que varia entre 36 a 56%, na forma de triacilgliceróis e ácidos graxos insaturados (LOZANO, 2016). Os ácidos oleico (18:1), linoleico (18:2) e palmítico (16:0) são os principais na composição do amendoim, sendo responsáveis pela classificação em normal oleico, médio oleico e alto oleico (LOZANO, 2016). As cultivares IAC 503, IAC 505 e IAC OL3 e OL4, por exemplo, são classificadas como alto oleico por apresentarem 70 a 80% de ácido oleico no óleo (IAC, 2017).

A produção mundial de amendoim na safra 2017/2018 foi de 45,46 milhões de toneladas, sendo a quarta oleaginosa mais produzida no mundo, atrás da soja, canola e girassol (USDA, 2018). Os maiores produtores (Tabela 1) em ordem decrescente são a China, Índia, Estados Unidos e Nigéria (USDA, 2018). Na América do Sul, a Argentina é a maior produtora, seguida pelo Brasil (USDA, 2018).

Tabela 1 – Maiores produtores de amendoim.

País	Produção (milhões	Área plantada	Produtividade
rais	de toneladas)	(milhões de hectares)	(toneladas/hectare)
China	17,80	4,90	3,63
Índia	6,50	5,00	1,30
Estados Unidos	3,28	0,72	4,56
Nigéria	3,20	2,70	1,19
Senegal	1,41	1,25	1,13
Sudan	1,40	1,80	0,78
Burma	1,38	0,89	1,55
Indonésia	1,08	0,58	1,85
Chad	1,00	0,95	1,05
Argentina	0,79	0,36	2,18
Brasil	0,51	0,14	3,69

Fonte: USDA, 2018.

No Brasil, o Estado de São Paulo destaca-se como maior produtor, responsável por cerca de 95% da produção nacional, seguido pelo Rio Grande do Sul, Minas Gerais (região do Triângulo Mineiro) e Paraná, de acordo com a Tabela 2 (CONAB, 2018). Em São Paulo destacam-se as regiões de Alta Mogiana, incluindo as cidades de Ribeirão Preto, Dumont, Jaboticabal e Sertãozinho e, a região de Alta Paulista, com Tupã e Marília (CONAB, 2017 b, c).

Tabela 2 – Estados brasileiros com maior produção de amendoim.

	Proc	lução	Produ	tividade	Área p	lantada
	(m	il t)	(kg	g/ha)	(mil	/ha)
	Safra	Safra	Safra	Safra	Safra	Safra
Estado	16/17	17/18	16/17	17/18	16/17	17/18
São Paulo	422,3	486,2	3.666	3.781	115,2	128,6
Rio Grande do Sul	11,8	11,8	3.471	3.276	3,4	3,6
Minas Gerais	9,4	8,1	3.615	3.527	2,6	2,3
Paraná	6,8	4,1	3.406	2.747	2,0	1,5

Fonte: CONAB, 2018.

por apresentar tolerância aos mais variados tipos de pragas o que faz com que as infestações nas áreas plantadas diminuam consideravelmente. O cultivo é feito em rotação com a cana-de-açúcar e com áreas de pastagens, e há investimentos em melhoramento genético de variedades rasteiras que garantem maior produtividade nas lavouras do grão (CONAB, 2017 a, b, c). Cerca de 80% da produção paulista é destinada aos mercados europeus e o restante é usado internamente para o beneficiamento, fábricas de doces e de óleo vegetal (CONAB, 2017 c).

Nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, a produção ainda é pequena e baseada na agricultura familiar (SIZENANDO 2015; SIZENANDO et al., 2016, CONAB, 2017 b). Em Mato Grosso, o maior produtor é o município de Barra do Bugres com área plantada de 85 ha, produção de 122 t e produtividade de 1.435 kg/ha, seguido por Diamantino com 15 ha, 23 t e 1.533 kg/ha; Juína 15 ha, 18 t e 1.200 kg/ha; Cotriguaçu 5 ha, 8 t e 1.600 kg/ha; Aripuanã com 5 ha, 5 t e 1.000 kg/ha e Nova Olímpia com 4 ha, 5 t e 1.250 kg/ha (IBGE 2016).

As cultivares no Brasil são desenvolvidas por empresas privadas, pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) e seus registros são feitos junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (LOZANO, 2016). A Tabela 3 traz todas as cultivares de amendoim registradas no MAPA até o ano de 2017.

Dentre as cultivares registradas no MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) e, desenvolvidas pelo IAC (Instituto Agronômico de Campinas), tem-se a do tipo Runner IAC 503, lançada em 2009 e que apresenta alto teor de ácido oleico (70% a 80%), o que garante maior estabilidade oxidativa e maior tempo de prateleira para o amendoim e seus derivados (SUASSUNA et al., 2014; IAC, 2017). Essa cultivar é rasteira com bastantes ramificações, de ciclo longo (130 - 140 dias em SP) e crescimento indeterminado, com suscetibilidade à mancha castanha e moderada resistência à mancha preta e a ferrugem (IAC, 2017).

Tabela 3 – Cultivares de amendoim registradas no MAPA até o ano de 2017.

Denominação	Espécie	Nome comum	Data do Registro
Alqueire 1	Arachis pintoi Krapov. & W. C. Greg.	Amendoim forrageiro	15/05/2006
Amarillo MG-100	Arachis pintoi Krapov. & W. C. Greg.	Amendoim forrageiro	28/11/2001
BR 1	Arachis hypogaea L.	Amendoim	16/12/1999
BRS 151-L7	Arachis hypogaea L.	Amendoim	16/12/1999
BRS 421	Arachis hypogaea L.	Amendoim	31/08/2017
BRS 423	Arachis hypogaea L.	Amendoim	29/08/2017
BRS 425	Arachis hypogaea L.	Amendoim	29/08/2017
BRS Havana	Arachis hypogaea L.	Amendoim	22/12/2005
BRS Mandobi	Arachis pintoi Krapov. & W. C. Greg.	Amendoim forrageiro	07/11/2008
BRS Pérola Branca	Arachis hypogaea L.	Amendoim	15/07/2011
Belomonte	Arachis pintoi Krapov. & W. C. Greg.	Amendoim forrageiro	13/04/2015
Botucatu	Arachis pintoi Krapov. & W. C. Greg	Amendoim forrageiro	12/02/2010
EC 98 AO	Arachis hypogaea L.	Amendoim	06/01/2016
GRANOLEICO	Arachis hypogaea L.	Amendoim	13/07/2010
IAC 127	Arachis hypogaea L.	Amendoim	22/10/2008
IAC 137	Arachis hypogaea L.	Amendoim	22/10/2008
IAC 147	Arachis hypogaea L.	Amendoim	22/10/2008
IAC 213	Arachis hypogaea L.	Amendoim	22/10/2008
IAC 22	Arachis hypogaea L.	Amendoim	12/04/2002
IAC 5	Arachis hypogaea L.	Amendoim	12/04/2002
IAC 503	Arachis hypogaea L.	Amendoim	19/10/2009

Denominação	Espécie	Nome comum	Data do Registro	
IAC 505	Arachis hypogaea L.	Amendoim	19/10/2009	
IAC 8112	Arachis hypogaea L.	Amendoim	12/04/2002	
IAC OL 3	Arachis hypogaea L.	Amendoim	20/03/2013	
IAC OL 5	Arachis hypogaea L.	Amendoim	16/09/2016	
IAC OL 4	Arachis hypogaea L.	Amendoim	04/09/2013	
IAC Oirã	Arachis hypogaea L.	Amendoim	21/08/2002	
IAC Poitara	Arachis hypogaea L.	Amendoim	21/08/2002	
IAC Tupã	Arachis hypogaea L.	Amendoim	21/08/2002	
IAC-Caiapó	Arachis hypogaea L.	Amendoim	13/04/1999	
IAC-Tatu-ST	Arachis hypogaea L.	Amendoim	13/04/1999	
Iapar 25 (Ticão)	Arachis hypogaea L.	Amendoim	13/05/1999	
OLin	Arachis hypogaea L.	Amendoim	15/07/2010	
PRONTO AO	Arachis hypogaea L.	Amendoim	18/11/2011	
Peabiru	Arachis pintoi Krapov. & W. C. Greg.	Amendoim forrageiro	12/02/2010	
Plukenetia volubilis L.	Plukenetia volubilis L.	Amendoim-da-amazônia	28/10/2009	
Runner IAC 886	Arachis hypogaea L.	Amendoim	12/04/2002	
TAMRUN OL 01	Arachis hypogaea L.	Amendoim	27/04/2010	
Tatu Vermelho	Arachis hypogaea L.	Amendoim	10/09/2001	

Fonte: SERVIÇO DE REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES, MAPA, 2017.

2.3. Compactação do solo

Com o crescimento acelerado da população mundial, que segundo estimativa da U. S. Census Bureau (2015) chegará a nove bilhões de habitantes em 2050, será necessário um aumento de 60% na produção de alimentos para atender a essa demanda, gerando forte pressão sobre a exploração dos recursos naturais, principalmente do solo (FAO, 2015).

O solo é um recurso finito e não renovável, sendo o componente principal dos recursos terrestres, do desenvolvimento das atividades agrícolas e da sustentabilidade ecológica, sendo a base para a produção de alimentos, rações, combustíveis e muitos outros serviços essenciais do ecossistema (FAO, 2015).

Nos sistemas agrícolas, o uso intenso de maquinários (sem o controle da umidade) atrelado à expansão da pecuária e das áreas de pastagens degradadas vem aumentando significativamente a preocupação com o processo de compactação do solo (JUNIOR; ESTANISLAU, 1999; SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005; LEONEL et al., 2007 a; MACEDO, 2009; VALICHESKI et al., 2012).

No processo de compactação do solo, que ocorre por intervenção antrópica, verifica-se uma alteração no balanço entre macro e microporos com redução do seu volume ocasionada por compressão, acarretando um rearranjamento mais denso das partículas e diminuição da porosidade (STONE et al., 2002; REICHERT et al., 2007; VALADÃO et al., 2015). O adensamento, que é um fenômeno natural do solo, ocorre pela deposição de partículas menores no espaço poroso do solo, causada pela sua desestruturação, o que ocasiona um aumento na densidade (STONE et al., 2002).

No plantio convencional, o intenso revolvimento do solo acarreta a sua desagregação, o selamento superficial e a formação de camadas compactadas subsuperficiais, chamadas de pé-de-grade ou pé-de-arado (FREITAS, 1994; BONFIM-SILVA et al., 2015). Castro et al. (2009) ao analisarem as raízes do milho em preparo convencional, obtiveram entre a camada de 0,05 a 0,20 m de profundidade, o maior estado de compactação do solo.

No sistema de plantio direto, o uso de maquinários e o não revolvimento do solo podem causar a compactação superficial (BEUTLER et al., 2001; TAVARES FILHO et al., 2001), com os maiores valores de densidade variando de 0,0 a 0,10 m de profundidade (GENRO JUNIOR et al., 2004; CASTRO et al., 2009), formando o

pé-de-plantio-direto (REICHERT et al., 2007).

Em pastagens, a compactação é mais severa na camada de 0,05 a 0,10 m de profundidade tanto em pastagem convencional quanto em áreas de Cerrado nativo sob pastejo, segundo Silva et al. (2008). Sarmento et al. (2008) verificaram que ao cultivar *Panicum maximum* Jacq. cv IPR-86 milênio sob lotação rotacionada e adubação com nitrogênio, houve um aumento no percentual de microporos e diminuição de macroporos na camada de 0 a 0,05 m de profundidade.

Nas áreas florestais, há a possibilidade da camada compactada ser maior do que nas áreas usadas para a agricultura e para a pecuária, devido ao peso dos maquinários serem mais elevado, ao tráfego intenso na colheita e maior umidade no solo pela presença de resíduos vegetais e sombreamento das espécies florestais (REICHERT et al., 2007).

A compactação do solo aumenta a sua densidade, a sua resistência mecânica à penetração e reduz a sua macroporosidade (ou porosidade de aeração) e a sua permeabilidade, acarretando problemas com infiltração de água no solo e com processos erosivos (STONE et al., 2002; SILVA et al., 2006 a; BOTTA et al., 2008; COLLARES et al., 2008; BERGAMIN et al., 2010).

O solo compactado dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas e as trocas gasosas, inibindo o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, causando decréscimos na produção (FAGUNDES et al., 2014; SHITTU; AMUSAN, 2015; NUNES et al., 2016; SILVA et al., 2016 b; PALUDO et al., 2017).

As raízes em solo compactado sofrem alterações morfológicas e fisiológicas para se adaptarem ao meio, e isso varia, entre espécie ou cultivar (MÜLLER et al., 2001; ROSOLEM et al., 2002; BONFIM-SILVA et al., 2012). Geralmente, com o aumento da resistência mecânica, as raízes têm o diâmetro maior na camada mais adensada (MATERECHERA et al., 1992; BENGOUGH et al. 1997) e apresentam raízes laterais mais finas (RUSSEL; GOSS, 1974).

De Acordo com Whiteley & Dexter (1982) culturas com raízes pivotantes tendem a sofrer mais com a compactação do que as com raízes fasciculadas finas, pois essas podem explorar canais radiculares e fissuras no solo.

Além disso, a compactação também influencia negativamente a comunidade microbiana do solo, pois com o menor crescimento radicular, há menor área disponível para a atividade biológica e menor liberação de exsudatos que atraem a bactéria no processo de infecção-nodulação (FLORES et al., 1999; SILVA et al.,

2016 b).

A baixa concentração de oxigênio (entre 2 a 5%) (PARR; REUSZER, 1962) favorece a anaerobiose, com consequentes perdas de nitrogênio por desnitrificação (JACKSON et al., 2008; CUNHA et al., 2009; SILVA et al., 2011; VASCONCELLOS et al., 2013). Torbert & Wood (1992) relataram um aumento de 286% na perda de nitrogênio quando a densidade do solo passou de 1,4 para 1,8 Kg dm⁻³.

Os micro-organismos decompositores também são influenciados, pois os compostos orgânicos adsorvidos à entrada dos microporos ficam resistentes à biodegradação por enzimas produzidas por esses micro-organismos, afetando a mineralização da matéria orgânica (KAISER; GUGGENBERGER, 2006; SILVA et al., 2011).

Vale ressaltar, ainda, que para cada tipo de solo existe uma densidade crítica que é dependente da sua classe textural (REINERT et al., 2008). Quando são atingidos valores superiores ao da densidade crítica, a resistência mecânica torna-se extremamente elevada que reduz ou impede o crescimento radicular (ROSEMBERG, 1964; CINTRA; MIELNICZUK, 1983; PEDÓ, 1986).

Reichert et al. (2003) sugeriram como densidade crítica 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m⁻³ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m⁻³ para os franco-arenosos. Entretanto, Nunes et al. (2016) comprovaram que para o Latossolo Vermelho do Cerrado a densidade crítica é 1,6 Mg m⁻³. Eles constataram que a resistência mecânica à penetração foi de 2,22 MPa, estando dentro do limite crítico de resistência do solo, 2,0 a 2,5 MPa (TAYLOR et al., 1966; TAYLOR, 1971). Além disso, comprovaram também, que a macroporosidade total nessa densidade é de 0,11 m m⁻³, sendo que o valor limitante ao desenvolvimento radicular da grande maioria das culturas é de 0,10 m m⁻³ (GRABLE; SIEMER, 1968; CANNEL, 1977; REICHERT et al., 2009).

Assim, além das características distintas de cada solo, o tipo de manejo também influencia no processo de compactação. Por isso, é importante o estudo da compactação e, em laboratório o ensaio mais usado é o Proctor Normal (ABNT, 1986; JUNIOR; ESTANISLAU, 1999). Raghavan et al. (1990) constataram que a umidade ótima de compactação relaciona-se com o momento em que o trator inicia a derrapagem, o que favorece o aumento da compactação do solo. Portanto, o valor da umidade equivalente à densidade máxima do solo é designado umidade ótima de compactação (STANCATI et al., 1981).

2.4. Nitrogênio

O nitrogênio é o quarto elemento químico mais abundante nos seres vivos, superado apenas pelo carbono, hidrogênio e oxigênio, responsáveis juntos por 99,9 % da matéria viva do planeta (DAMINELI; DAMINELI, 2007).

Na atmosfera terrestre, o nitrogênio está presente sob a forma gasosa (N₂), compondo 78% do ar atmosférico (CARVALHO; ZABOT, 2012; RODRIGUES et al., 2017), porém a maioria dos seres vivos é incapaz de usá-lo como nutriente devido à tripla ligação que existe entre os seus átomos (COSTA, 2011; HUNGRIA, 2011). É um gás inodoro, incolor e quimicamente muito estável, sendo considerado inerte em condições ambiente (CARVALHO; ZABOT, 2012).

O nitrogênio é o macronutriente mais exigido em quantidade pelas culturas agrícolas (BISSANI et al., 2008; GUARESCHI et al., 2011; BARBOSA et al., 2012; MOREIRA et al., 2017), representando de 2 a 5% da matéria seca vegetal (BARBOSA et al., 2012). Ele faz parte da constituição de diversas biomoléculas, tais como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios, clorofila, ATP, NADH, NADPH, diversas enzimas, dentre outras moléculas (MIFLIN; LEA, 1976; PEREIRA et al., 1981; FAGAN et al., 2007; FERREIRA et al., 2017; TAIZ et al., 2017).

Para as plantas considera-se como um elemento essencial e limitante (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2013; MENEGHIN et al., 2008; GUARESCHI et al., 2011; BARBOSA et al., 2012), pois participa dos processos fisiológicos como a respiração, fotossíntese e a diferenciação celular e genética, sendo que sua falta afeta "principalmente, a taxa de emergência e o crescimento de folhas e raízes (RYLE et al., 1979; CHAPIN, 1980; MENGEL; KIRKBY, 1987; TAIZ; ZEIGER, 2013). Isso acarreta redução no crescimento das plantas e grandes perdas em produtividade (FAGAN et al., 2007).

Nos solos, o nitrogênio ocorre tanto na forma inorgânica quanto na orgânica, sendo essa última a predominante, condizendo com 95 a 99% do N total (STEVENSON 1982; KIEHL, 1987; GUIMARÃES, 2006). Por meio da mineralização, o nitrogênio orgânico é convertido à forma mineral, formando, principalmente íons amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) que são as formas absorvidas pelas plantas (FRITZONS, 1999; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; FAGAN et al., 2007; BRUNETTO, 2008; BARBOSA et al., 2012; RODRIGUES et al., 2017). Entretanto, o nitrato é a forma predominante no processo de absorção, por ser mais abundante na

solução do solo devido à nitrificação (MARSCHNER, 1995; BARBER, 1995; NORTON, 2000; OWEN; JONES, 2001). A cada ano, somente 1 a 3% do nitrogênio orgânico é mineralizado (FRITZONS, 1999).

Essa baixa mineralização do nitrogênio atrelada a outros fatores como a imobilização pela microbiota do solo, a fixação aos minerais argilosos, à absorção pelas plantas e as perdas por lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e desnitrificação (ANGHINONI, 1986; FRITZONS, 1999; MIFLIN; HABASH, 2002; FAGERIA; STONE, 2003), podem ajudar a esclarecer os baixos teores desse nutriente (0,05 a 0,30%) encontrados nos solos brasileiros (ARAUJO; HUNGRIA, 1994; HUNGRIA et al., 2007; PIETRO-SOUZA et al., 2013).

Por ser a forma mais rápida de assimilação pelas plantas, o uso dos fertilizantes nitrogenados é a prática mais utilizada para repor o nitrogênio do solo (HUNGRIA et al., 2001; FRAZÃO et al., 2014). Entretanto, são insumos de alto custo de produção (HUNGRIA et al., 2001; GUIMARÃES, 2006; SOUZA et al., 2011; BARBOSA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013).

O processo de fixação industrial (Haber-Bosch) se dá pela reação do nitrogênio com o hidrogênio resultando em amônia (HUNGRIA et al., 2001; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Para que a reação ocorra são necessárias altas temperaturas (300 a 600 °C), altas pressões (200 a 800 atm) e elevada demanda energética, além de usar insumos como ferro (catalisador) e gás de petróleo (hidrogênio) (HUNGRIA et al., 2001; CARVALHO, 2002; VITTI; HEIRINCHS, 2007; BARBOSA et al., 2012).

Todavia, o aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas é baixo, algo em torno de 50% (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; HUNGRIA et al., 2001), o que significa que a cada 100 kg de nitrogênio aplicado ao solo, 50 kg serão perdidos. Além disso, grande quantidade de nitrogênio é exportada via colheita, o que provoca o uso indiscriminado dos fertilizantes nitrogenados nas áreas agrícolas (VITTI et al., 1999; HUNGRIA et al., 2001; GUIMARÃES, 2006).

O uso em excesso dos fertilizantes nitrogenados pode causar sérios danos ambientais, como a eutrofização de cursos d'água, a acidificação do solo e a contaminação de recursos hídricos e lençóis subterrâneos, podendo causar riscos à saúde humana (SMIL, 1997; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; HUNGRIA et al., 2001; GUIMARÃES, 2006).

Uma alternativa ao alto custo dos insumos nitrogenados e aos danos que

esses causam ao meio ambiente quando usados de forma irracional é o processo de fixação biológica de nitrogênio que será abordado com mais detalhes a seguir.

2.5. Fixação biológica de nitrogênio

No Brasil, os estudos relacionados à fixação biológica de nitrogênio (FBN) tiveram início no final da década de 50, com os trabalhos pioneiros da cientista tcheca, naturalizada brasileira, Johanna Döbereiner (REIS JÚNIOR et al., 2002; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Seus estudos na área da FBN permitiram ao Brasil consolidar o cultivo da soja sem o uso de fertilizantes nitrogenados, alavancando o país ao posto de segundo maior produtor mundial de soja (EMBRAPA, 2017 a). Isso gerou grande economia aos produtores, além de inúmeros benefícios ao meio ambiente (EMBRAPA, 2017 a).

A FBN é considerada o segundo processo biológico mais importante para as plantas e manutenção da vida no planeta, juntamente com a decomposição orgânica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Estima-se que contribua com 65% do nitrogênio total fixado, sendo considerado o maior processo de fixação desse nutriente para os seres vivos (HUNGRIA et al., 2007). Segundo Cardoso & Andreote (2016) a FBN fixa cerca de 150 milhões de toneladas de nitrogênio/ano.

A FBN é realizada por micro-organismos procarióticos, conhecidos como diazotróficos ou fixadores de N₂, cujos representantes pertencem aos domínios Bacteria e Archaea (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Esses diazotróficos quebram a tripla ligação do nitrogênio atmosférico, reduzindo- o a amônia (NH₃), através do complexo enzimático chamado nitrogenase (FRANCO; DÖBEREINER, 1988; REIS; TEIXEIRA, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; HUNGRIA et al., 2007; HOFFMAN et al., 2009; HUNGRIA, 2011).

A estequiometria da reação que envolve a FBN em condições normais de temperatura e pressão é representada a seguir (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; REIS; TEIXEIRA, 2006; COSTA, 2011):

$$N_2 + 8 H^+ + 16 ATP + 8 e^- Nitrogenase 2 NH_3 + H_2 + 16 ADP + 16 Pi$$

A grande maioria dos micro-organismos fixadores de nitrogênio é de vida livre,

podendo habitar todos os tipos de solos, a rizosfera, a filosfera e os ambientes aquáticos de água doce e salgada (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Outros, porém, podem estabelecer relação simbiótica com plantas leguminosas, como o amendoim, a soja e o feijão; já outros podem estar associados a certas espécies vegetais, como as gramíneas, estabelecendo relações menos especializadas (DÖBEREINER; ALVAHYDO, 1959; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; HUNGRIA et al., 2007; SIZENANDO, 2015; CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Além disso, esses micro-organismos podem ser considerados endofíticos facultativos ou obrigatórios (BALDANI et al., 1997).

A FBN apresenta inúmeras vantagens, dentre elas pode-se citar o baixo custo aos produtores quando comparado aos insumos nitrogenados, a abundância de nitrogênio gasoso na atmosfera, o aumento da produtividade das culturas, a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a recuperação de áreas degradadas, o incremento da fertilidade e da matéria orgânica do solo, além de não causar danos ambientais (BRATTI et al., 2005; MELO, 2009).

A FBN tem papel importante no processo de redução da emissão de gases de efeito estufa (GEEs) que estão relacionados às etapas de produção e transporte dos adubos nitrogenados (ABC OBSERVATÓRIO, 2017). Estima-se que a utilização de 1 Kg de insumo nitrogenado emita cerca de 10 Kg de gás carbônico (ABC OBSERVATÓRIO, 2017). Por isso, a FBN é umas das tecnologias indicadas no Programa de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), cuja meta é utilizar a fixação biológica de nitrogênio em 5,5 milhões de hectares e reduzir a emissão de 10 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente (tCO₂e) até o ano de 2020 (ABC OBSERVATÓRIO, 2017).

Entretanto, diversos fatores podem interferir na fixação biológica de nitrogênio, tais como a acidez e a toxicidade causada pelo alumínio e manganês (HUNGRIA; VARGAS, 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), a deficiência de nutrientes como o fósforo (HUNGRIA; VARGAS, 2000; FREIRE FILHO et al., 2005; ALMEIDA, 2008; MELO, 2009) e o molibdênio (GUPTA; LIPSETT, 1981; HUNGRIA; VARGAS, 2000; GUIMARÃES et al., 2007; ALMEIDA, 2008; GUALTER et al., 2008; COSTA, 2011; SANTOS et al., 2017 a), o estresse hídrico (WALSH, 1995; MELO, 2009; CARVALHO, 2002), as variações de temperatura (STRALIOTTO;

RUMJANEK, 1999; HUNGRIA; VARGAS, 2000; MELO, 2009), a salinidade (BOUHMOUCH et al., 2005), as relações sinergísticas ou antagônicas entre os micro-organismos (STRALIOTTO; RUMJANEK, 1999), dentre outros.

Por isso, pesquisas relacionadas à FBN são importantes para a obtenção de estirpes eficientes para as culturas agrícolas que sejam adaptadas às condições edafoclimáticas de cada região.

2.6. Bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas

Dentre os micro-organismos que estabelecem simbiose com as leguminosas, destacam-se os conhecidos popularmente como rizóbios (JORDAN, 1984; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; HUNGRIA, 2011; CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Eles pertencem ao filo *Alphaproteobacteria*, ordem Rhizobiales e abrangem os gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*, *Mesorhizobium*, dentre outros (GARRITY; HOLT, 2001; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; GUALTER, 2010). Recentemente, bactérias do filo *Betaproteobacteria*, gêneros *Burkholderia* e *Ralstonia* foram identificadas em processo simbiótico com as plantas de leguminosas (CHEN et al., 2001; MOULIN et al., 2001; TRIPATHI, 2002; MOREIRA; SIQUERIA, 2006; COSTA, 2011; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Os rizóbios nas leguminosas formam estruturas hipertróficas conhecidas como nódulos, que podem ser radiculares ou caulinares (DILWORTH, 1984; GUIMARÃES, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; MELO, 2009; HUNGRIA, 2011). Por isso, são também chamados de bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas (BFNN) (FREIRE FILHO et al., 2005; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; MELO, 2009). Quando estão ativos, esses nódulos apresentam coloração interna avermelhada, devido à presença da leg-hemoglobina, responsável por regular os níveis de oxigênio dentro do nódulo, visto que a nitrogenase é sensível ao O₂ (COSTA, 1996; GUIMARÃES, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; THOMAS; COSTA, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Essa simbiose rizóbio-planta é uma relação complexa, eficiente e que data de milhões de anos atrás (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; HUNGRIA, 2011). Na simbiose ocorre uma troca mútua em que a planta fornece às bactérias os compostos de carbono e outros nutrientes para sustentar o crescimento bacteriano, a fixação do

nitrogênio e incorporar amônio em compostos orgânicos, como aminoácidos, amidas e ureídos que serão fornecidos à planta (MOAT; FOSTER, 1996; HUNGRIA et al., 2001; CASSINI; FRANCO, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; GUALTER, 2010).

Os rizóbios possuem grande diversidade genética que está atrelada ao fato de se reproduzirem muito rapidamente, de sofrerem variações e mutações genéticas ao longo do tempo, de se distribuírem em ampla faixa geográfica, além da diversidade de hospedeiros (PIÑERO et al., 1988; CHAGAS JÚNIOR, 2007). Por isso, pesquisas relacionadas à inoculação em plantas leguminosas, principalmente, as cultivadas mundialmente e de importância econômica, como o amendoim, são relevantes.

O amendoim é considerado uma espécie promíscua por ser capaz de nodular com uma ampla faixa de rizóbios tropicais do grupo miscelânea caupi (THIES et al., 1991; BORGES et al., 2007). No Brasil, há mais de 25 anos, apenas uma estirpe é oficialmente recomendada como inoculante comercial para o amendoim (*Arachis hypogaea*): a *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 6144, originária do Zimbabwe (MAPA, 2011; SANTOS et al., 2017 b). Logo, verifica-se a importância dos estudos para encontrar outras estirpes eficientes para a cultura do amendoim.

Santos et al. (2014) analisaram o crescimento inicial de amendoim cultivar IAC Tatu inoculado com 10 isolados de rizóbio advindos de plantas de feijão caupi. Foi constatada a influência positiva no número e na massa seca de nódulos, evidenciando que a FBN pode substituir parcialmente o adubo nitrogenado para essa cultura.

Sizenando et al. (2016) estudaram a eficiência agronômica de *Bradyrhizobium* em amendoim em três diferentes ambientes do Nordeste Brasileiro. Eles obtiveram resultados benéficos com a estirpe ESA 123 (isolada do solo) e indicaram mais testes com a estirpe, a qual, futuramente, poderia se tornar um inoculante comercial recomendado para o amendoim no Brasil.

ALMEIDA (2017) em seu estudo com amendoim cultivar IAC 213 inoculado com rizóbio em Latossolo Vermelho do Cerrado obteve as melhores características agronômicas da planta com as estirpes MT15 e MT16. Esses resultados demonstraram que as estirpes possuem grande potencial para uso como inoculante comercial.

2.7. Bactérias fixadoras de nitrogênio associativas

Os estudos relacionados à fixação biológica de nitrogênio de forma associativa tiveram início no Brasil no fim da década de 50, quando a pesquisadora Johanna Döbereiner identificou a associação específica entre a bactéria *Azotobacter paspali* e a gramínea *Paspalum notatum* cv. Batatais (REIS JÚNIOR et al., 2002; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Entretanto, foi na década de 70 que os estudos ganharam destaque mundial com a descoberta de bactérias do gênero *Azospirillum* que foram isoladas de *Brachiaria* spp. (DÖBEREINER; DAY, 1976; DÖBEREINER et al., 1976; NEYRA; DÖBEREINER, 1977; HUNGRIA, 2011). As associações de fixadores de nitrogênio ocorrem na grande maioria em gramíneas e em outras monocotiledôneas, porém também podem ser encontradas em dicotiledôneas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O gênero *Azospirillum* compreende o grupo de bactérias diazotróficas associativas mais estudado (BALDANI, 1984; BASHAN; BASHAN, 2005; NOVAKOWISKI et al., 2011). Elas podem ser encontradas tanto em regiões de clima tropical quanto em regiões de clima temperado, sendo conhecidas como cosmopolitas (BALDANI, 1984; DROZDOWICZ, 1997; ELMERICH; NEWTON, 2007).

São bactérias gram-negativas, aeróbias e endofíticas facultativas, podendo colonizar tanto o interior quanto a superfície das raízes (DÖBEREINER; BALDANI, 1982; DÖBEREINER et al., 1995; BALDANI et al., 1997; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006); além de possuírem grande capacidade de sobrevivência no solo (BALDANI et al., 2007). Seus representantes são Azospirillum lipoferum, A. brasilense, A. amazonense, A. halopraeferans, A. irakense, A. largimobile, A. doebereinerae, A. oryzae, A. melinis, A. canadense, A. zeae, A. rugosum, A. palatum, A. picis e A. thiophilum, sendo os três primeiros os que apresentam maior espectro de hospedeiros (BALDANI et al., 1997; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; REIS et al., 2010).

Além da FBN, essas bactérias também produzem fitohormônios como o ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas (TIEN et al., 1979; BOTTINI et al., 1989; BAZZICALUPO; OKON, 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; KUSS et al., 2007), que promovem o crescimento das plantas, alteram a morfologia das raízes, tornando possível uma maior exploração de água e nutrientes do solo (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000; ZAIED et al., 2003; BASHAN et al., 2004). Isso implica a

esses micro-organismos o nome de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) ou rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; KUSS et al., 2007; HUNGRIA et al., 2010; HUNGRIA, 2011; CARDOSO; ANDREOTE, 2016; PORTUGAL et al., 2017).

Essas BPCP ainda promovem uma maior produção de flavonoides e isoflavonoides, o que estimula a nodulação (BURDMAN et al., 1996); aumentam a atividade da enzima nitrato redutase (CÁSSAN et al., 2008); solubilizam fosfato do solo (RODRIGUEZ et al., 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; HUNGRIA et al., 2010; INAGAKI et al., 2014); elevam a resistência da planta aos estresses como salinidade e seca (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000; BASHAN et al., 2004); implicam uma maior tolerância às plantas aos ataques de patógenos (ASGHAR et al., 2002; CORREA et al., 2008) pela produção de sideróforos e de antibióticos (ASGHAR et al., 2002); melhoram parâmetros fotossintéticos das folhas e aumentam a produção de biomassa (BARASSI et al., 2008). A combinação de todos esses benefícios das BPCP acarreta em plantas mais vigorosas e mais produtivas (BASHAN; HOLGUIN, 1997; DOBBELAERE et al., 2001; BASHAN et al., 2004; HUNGRIA et al., 2010).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento possui como estirpes de *Azospirillum brasilense* aprovadas para produção de inoculantes comerciais no país a Ab-V1, Ab-V4, Ab-V5, Ab-V6, Ab-V7 e Ab-V8 (MAPA, 2011).

No Brasil, na década de 90, tiveram início estudos relacionados à técnica de coinoculação, com o intuito de avaliar a interação entre o rizóbio e outros microorganismos. Araújo & Hungria (1999) estudaram a viabilidade de sementes de soja inoculadas (*B. japonicum* e *B. elkanii*) e coinoculadas (*Bacillus subtilis* ou seus metabólitos) em três experimentos de campo. Como resultados, obtiveram incrementos significativos na nodulação, na ocupação dos nódulos pelas estirpes de rizóbios e no rendimento da soja com os tratamentos coinoculados. Entretanto, nos últimos anos, têm-se realizado estudos abrangendo a inoculação com *Bradyrhizobium* sp. e a coinoculação com *A. brasilense* em soja e feijão, buscando produzir um efeito sinérgico e aumentar a produtividade dessas culturas (HUNGRIA et al., 2013). Pesquisas realizadas pela Embrapa apontam um rendimento em grãos de 16,1% para a soja e de 19,6% para o feijão com a tecnologia de coinoculação com *Azospirillum* contra 8,4 % para a soja e 8,3% para o feijão usando apenas a inoculação com rizóbio (HUNGRIA et al., 2013).

Braccini et al. (2016) obtiveram para a soja, incrementos nas características

fisiológicas e aumento no rendimento dos grãos nos tratamentos em que utilizaram a a inoculação com *B. japonicum* e a coinoculação com *A. brasilense* quando comparado com a testemunha.

Gilabel (2018) ao trabalhar com feijoeiro comum obteve com as coinoculações de *R. tropici* + *A. brasilense* (2,5 x 10⁵ células semente ⁻¹) e *R. tropici* + *A. brasilense* (5,2 x 10⁴ células semente ⁻¹ combinadas com o uso de 20 Kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura) maior matéria seca de nódulos e maior teor de ureídos na safra "das águas".

Silva et al. (2017) constataram que com a coinoculação de sementes de amendoim com *B. japonicum* e *A. brasilense* ocorreram melhorias na nodulação das raízes e na altura de plantas, porém não obtiveram diferença em relação ao crescimento, matéria seca e nas características morfofisiológicas das plantas de amendoim.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

A realização do experimento ocorreu de outubro de 2017 a fevereiro de 2018, em casa de vegetação da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis-MT, situada na latitude 16º28'15" Sul, longitude 50º38'08" Oeste e altitude de 284 metros.

O clima da região de acordo com Köppen é denominado Aw, quente e úmido com chuvas no verão e estiagem no inverno (NIMER, 1989).

A Figura 2 mostra as médias das temperaturas máxima (40,4 °C) e mínima (22,8 °C), bem como a média entre elas (31,6 °C), as quais foram registradas em todo o período de condução do trabalho.

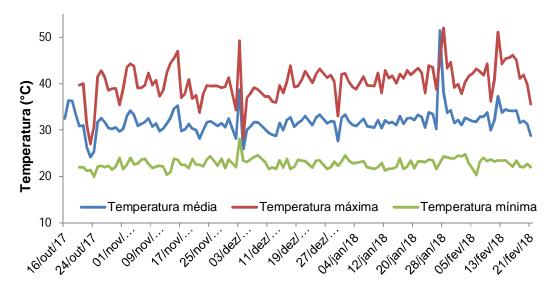


Figura 2 - Temperaturas média, máxima e mínima registradas durante a execução do experimento.

As médias das umidades relativas máxima (88,3%) e mínima (31,6%) e a média entre elas (48,7%) observadas durante a execução do experimento estão representadas na Figura 3.

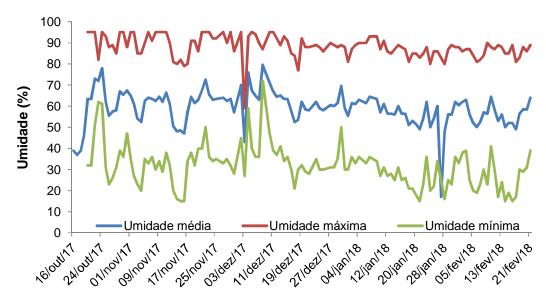


Figura 3 – Umidades média, máxima e mínima registradas durante a execução do experimento.

As maiores temperaturas registradas ficaram próximas dos 50 °C e as menores umidades relativas em torno de 15%. Isso ocorreu devido a problemas na estufa onde a correia do ventilador foi rompida e precisou ser trocada. Além disso, durante a condução do experimento também houve desligamento da energia para a poda de árvores no câmpus.

3.2. Coleta, caracterização, correção da acidez e adubação do solo

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013) coletado em área com fragmento de Cerrado na camada de 0-0,20 m de profundidade e peneirado em malha de 4 mm de abertura para preenchimento dos vasos e de 2 mm para caracterização química e granulométrica, conforme a Tabela 4 (EMBRAPA, 2017 b).

Tabela 4 – Análises químicas e granulométricas do solo usado no experimento.

рН	Р	K	Ca	Mg	Al	Н	H+Al	SB	CTC	V	M.O.	Areia	Silte	Argila
(CaCl ₂)	(mg	dm ⁻³)			(cmol _c dı	m⁻³)			(%)	(g dm ⁻³	3)	(g kg ⁻	1)
4,2	0,6	23,4	0,45	0,25	0,68	4,70	5,38	0,76	6,13	12,40	25,6	407	136	457

Com base na análise química, a acidez foi corrigida por meio de calagem,

calculada pelo método de saturação por bases (RAIJ, 1991). Foi realizada a incorporação de calcário dolomítico com PRNT de 86%, elevando-se a saturação por base para 60%, com posterior incubação do solo.

Após a incubação, foi efetuada a medição em triplicata do pH em solução de CaCl₂ 0,01M (EMBRAPA, 2017 b), pois a faixa ideal para o cultivo da maioria das culturas encontra-se entre 5,5 a 6,5, onde ocorre a maior disponibilidade de nutrientes (ANSORENA MINER, 1994; BAUMGARTEN, 2002).

Foi realizada a adubação fosfatada com 100 mg dm $^{-3}$ de P_2O_5 e a potássica com 60 mg dm $^{-3}$ de K_2O , utilizando como fontes o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. Somente na testemunha absoluta (sem adubação e sem inoculação) não foi efetuada a adubação de implantação.

A adubação nitrogenada foi executada apenas na testemunha contendo nitrogênio, 11 dias após a emergência, na dose de 50 mg dm⁻³, usando como fonte a ureia.

Foi realizada a adubação com micronutrientes na forma de solução contendo 1 mg dm⁻³ de boro (B) e cobre (Cu), 3 mg dm⁻³ de zinco (Zn) e manganês (Mn) e 0,2 mg dm⁻³ de molibdênio (Mo) (FARIAS et al., 2015), cujas fontes foram ácido bórico (H₃BO₃), sulfato de cobre penta-hidratado (CuSO₄. 5H₂O), sulfato de zinco hepta-hidratado (ZnSO₄. 7H₂O), cloreto de manganês II tetra-hidratado (MnCl₂. 4H₂O) e ácido molibdico (MoO₃), respectivamente (Figura 4).



Figura 4– Adubação com solução de micronutrientes.

3.3. Implantação das unidades experimentais

Para a montagem dos vasos adaptou-se a metodologia sugerida por Farias et al. (2013). Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de 5,3 dm³, construído com tubo de PVC (policloreto de vinila) rígido com 150 mm de diâmetro interno, com 300 mm de altura, sendo o mesmo composto por três anéis de 100 mm (Figura 5), unidos com fita adesiva "silver tape" (Figura 6).

Na parte inferior de cada vaso foi inserida uma tela de sombreamento de monofilamento (Sombrite[®]), na cor preta, com malha de 70%. Essa tela foi fixada com anel de borracha obtido pela secção transversal de câmara de ar de pneu. Foram usados pratos plásticos de 300 mm de diâmetro embaixo de cada unidade experimental para servir como fundo do recipiente (Figura 7 a).

No anel inferior utilizou-se uma camada de 2 cm de brita para facilitar a drenagem dos vasos no período em que a irrigação foi feita no anel superior (Figura 7 b, c).

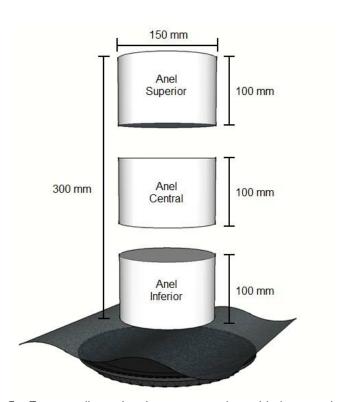


Figura 5 – Esquema ilustrativo da montagem das unidades experimentais.



Figura 6 – Unidade experimental com os anéis unidos com a fita "silver tape".

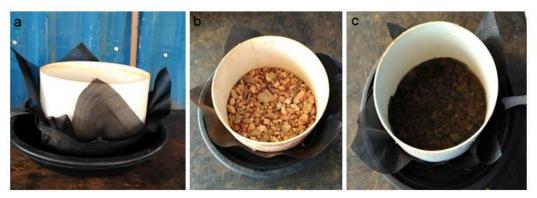


Figura 7– Montagem do anel inferior: a) anel com a tela fixada com a câmera de ar e com o prato servindo como fundo do recipiente; b) anel preenchido com 2 cm de brita; c) anel com a brita e uma proteção com a tela (Sombrite[®]).

Nos anéis superiores e inferiores o preenchimento foi feito com massa de solo equivalente para manter a densidade em 1,0 Mg m⁻³ (Fagundes et al., 2014; Silva et al., 2016 b; Paludo et al., 2017), segundo a equação 1 (ANICÉSIO, 2012; BONFIM-SILVA et al., 2014).

$$DS = \frac{Ms}{V} \tag{1}$$

Onde:

Ds = densidade do solo (Mg m⁻³);

Ms = massa de solo seco (Mg);

V = volume total do anel (m⁻³).

Nos tratamentos com solo compactado, ao anel central foi adicionada massa de solo para manter a densidade em 1,6 Mg m⁻³, densidade essa tida como crítica para Latossolo Vermelho do Cerrado (NUNES et al., 2016).

Porém, para atingir a densidade correspondente ao nível de compactação desejado, deve-se levar em consideração a umidade do solo no momento de ser compactado, ou seja, para facilitar o processo de compactação, a umidade do solo precisa estar num teor adequado (CAPUTO, 1995).

De acordo com a curva de compactação desenvolvida pelo laboratório da Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP- Botucatu), utilizando o Ensaio Proctor Normal - NBR 7182, (ABNT, 1986), obteve-se o valor de 15% para a umidade ótima de compactação de um Latossolo Vermelho de textura média (SANTOS, 2006). Para o Latossolo Vermelho coletado em área com fragmento de Cerrado do Câmpus de Rondonópolis foram feitos ensaios de umidade, seguindo a metodologia da EMBRAPA (2017 b). A umidade média obtida foi de 16%, considerada adequada de acordo com a curva de compactação citada acima (ANICÉSIO, 2012; BONFIM-SILVA et al., 2014).

Seguindo o princípio da não uniformidade da umidade entre as amostras de solo que foram usadas para o preenchimento dos anéis compactados, determinouse a massa de solo úmido a ser utilizada, considerando a umidade apresentada em cada amostra, de acordo com a equação 2 (ANICÉSIO 2012; BONFIM-SILVA et al., 2014).

$$\theta m = \frac{Msu - Ms}{Ms}$$
 : $Msu = Ms (1 + \theta m)$ 2

Onde:

 θ m = umidade a base de massa (%);

Msu = massa de solo úmido (Mg);

Ms = massa de solo seco (Mg).

Com a massa de solo devidamente calculada, adicionou-se a quantidade ao anel central e realizou-se a compactação utilizando uma prensa hidráulica (Figura 8).



Figura 8 – Prensa hidráulica usada para a compactação do solo inserido no anel central.

3.4. Semeadura e manutenção da umidade

A semeadura foi feita manualmente, utilizando 10 sementes por unidade experimental (Figura 9).



Figura 9 – Semeadura das sementes de amendoim nas unidades experimentais.

A cultivar utilizada foi a IAC 503 que apresenta alto grau oleico (70 a 80%) e prolongada "vida de prateleira", tornando-se uma opção vantajosa para o mercado consumidor do produto (IAC, 2017).

A germinação ocorreu cinco dias após a semeadura. Foi realizado o desbaste, deixando 4 plantas por vaso.

A umidade do solo foi mantida, incialmente, por irrigação realizada na superfície dos vasos até o estabelecimento das plantas. Após a irrigação começou a ser mantida por capilaridade adicionando água aos pratos sob os vasos, forçando as plantas a vencerem a camada compactada em busca de água (SILVA et al., 2006 b).

3.5. Multiplicação e inoculação das estirpes de rizóbio e coinoculação com Azospirillum brasilense

No preparo do inoculante com a estirpe MT 15 (*R. tropici*), seguiu-se a metodologia descrita por Fred & Waksman (1928); Hungria & Araújo (1994) e Melo & Azevedo (1998). O número de células foi ajustado para garantir o valor de 6,0 x 10⁹ Unidades Formadoras de Colônia (UFC). Em seguida, a estirpe de rizóbio em meio líquido 79 foi submetida à agitação (100 rpm) e ao aquecimento (30°C) com a finalidade de promover e acelerar a multiplicação celular (Figura 10 a).

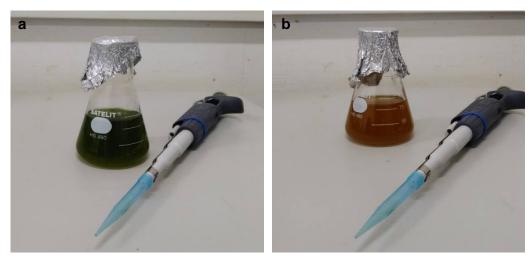


Figura 10 - a) estirpe de rizóbio MT 15; b) inoculante comercial contendo Azospirillum brasilense.

Posteriormente, 3 mL do caldo bacteriano (Figura 11) foram inoculados próximo ao sistema radicular da plantas que compuseram o tratamento.

A coinoculação foi realizada com inoculante comercial contendo *A. brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (figura 10 b) na proporção de 3 mL, também aplicados

próximo às raízes de cada planta.

Tanto a inoculação quanto a coinoculação foram realizadas aos 9 dias após a emergência das plantas.



Figura 11 – Inoculação com a estirpe MT 15 próximo às raízes de cada planta.

A inoculação das plantas que receberam o inoculante comercial (estirpe SEMIA 6144 de *B. elkanii*) ocorreu por meio da peletização das sementes, utilizando a dose recomendada pelo fabricante (Figura 12). Em seguida, procedeu-se a semeadura.



Figura 12 – Peletização das sementes de amendoim com o inoculante comercial.

3.6. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos foram compostos por inoculante comercial para amendoim (estirpe SEMIA 6144 de *B. elkanii*); estirpe MT 15 (*R. tropici*); MT 15 + inoculante comercial com *A. brasilense*; testemunha nitrogenada (com nitrogênio e sem inoculação) e testemunha absoluta (sem adubação e sem inoculação) em solo com e sem compactação (Figuras 17, 18, 19 e 20). Foram realizadas 4 repetições, perfazendo um total de 40 parcelas (Figuras 13, 14, 15 e 16).



Figura 13 – Vista geral do experimento aos 2 dias após a emergência das plantas.



Figura 14 – Vista geral do experimento: **a)** aos 30 dias após a emergência das plantas, já com as primeiras flores; **b)** flor de amendoim.



Figura 15 – Vista geral do experimento aos 60 dias após a emergência.



Figura 16 – Vista geral do experimento aos 90 dias após a emergência.

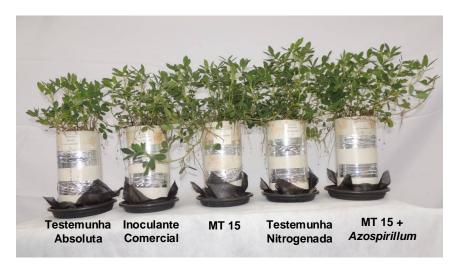


Figura 17 – Comparativo entre os tratamentos aos 60 dias em solo compactado.

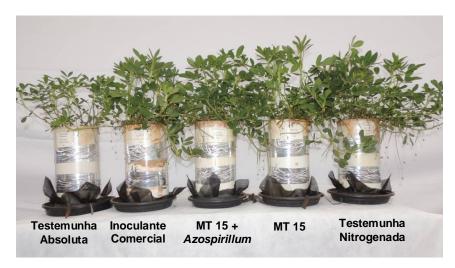


Figura 18 – Comparativo entre os tratamentos aos 60 dias em solo não compactado.

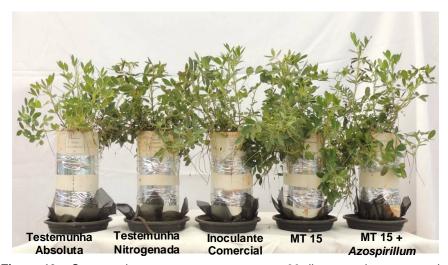


Figura 19 – Comparativo entre os tratamentos aos 90 dias em solo compactado.

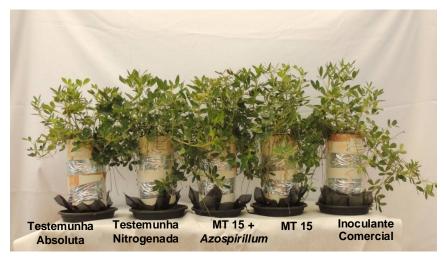


Figura 20 – Comparativo entre os tratamentos aos 90 dias em solo não compactado.

3.7. Controle fitossanitário

Foram constatados insetos identificados como tripes-do-prateamento, conforme a Figura 21 (AGUIAR et al., 2014). Três aplicações foram realizadas com inseticida natural, óleo de Neem, de acordo com a dose recomendada pelo fabricante. Duas aplicações também foram feitas com o inseticida Bulldock (betaciflutrina), do grupo piretróide, na dose recomendada pelo fabricante.



Figura 21 – Infestação com tripes: a, b, c, sintomas encontrados nas plantas; d, inseto tripes-do-prateamento sob uma folha.

Aos setenta dias após a emergência foram constatadas algumas doenças fúngicas, como a mancha em "V" causada pelo fungo *Leptosphaerulina crassiasca*, que causa uma mancha em forma de "V" com o vértice voltado para a base da folha cercado por um halo amarelo (Figura 22 a); a mancha-barrenta causada pelo fungo *Phoma arachidicola*, que causa pequenas manchas pardas irregulares nas folhas

(Figura 22 b); e a murcha de *Sclerotium* causada pelo fungo *Sclerotium rolfsii*, doença de difícil manejo que causa podridões, principalmente, do colo da planta, murchando e secando a planta, conforme a Figura 22 c e d (SUASSUNA et al., 2014). Todas essas doenças têm o desenvolvimento favorecido pela alta umidade relativa do ar, o que ocorreu durante a execução do experimento.

A murcha de *Sclerotium* ocasionou a morte de plantas em alguns tratamentos tanto em solo compactado como em não compactado. Foram feitas duas aplicações com o fungicida Draconil-Br (clorotalonil) para o controle dos fungos.

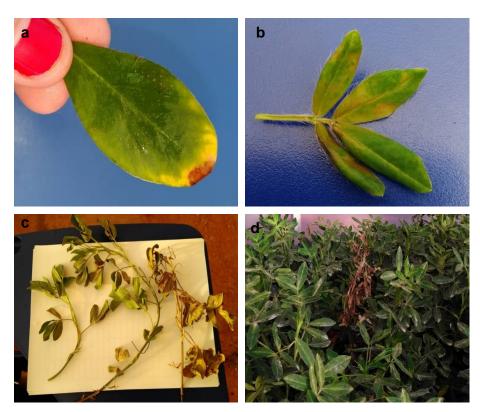


Figura 22 – Plantas com doenças fúngicas: a) folha com mancha em "V"; b) folhas com manchabarrenta; c) galhos secos retirados de algumas plantas acometidas pela murcha de *Sclerotium*; d) planta morta pela murcha de *Sclerotium*.

Aos oitenta dias após a emergência, verificou-se uma infestação pelo ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), conforme as Figuras 23 a e b.



Figura 23 – Plantas com infestação por ácaro rajado: a) folhas no início da infestação; b) plantas no final do ciclo e com infestação no ápice.

Eles ficam localizados no verso da folha e tecem grande quantidade de teia; no ápice da infestação migram para o ponteiro das plantas (SUASSUNA et al., 2014). De acordo com esses autores, os ácaros rajados também produzem injúrias nas plantas semelhantes às causadas pelos insetos tripes, além de promoverem o amarelecimento das folhas, que podem ficar bronzeadas e cair. Para combatê-los foram realizadas duas aplicações com acaricida Kraft 36 EC (abamectina) na dose recomendada pelo fabricante.

3.8. Variáveis analisadas

As variáveis analisadas aos 30, 60 e 90 dias após a emergência foram:

- Altura de plantas: realizada medindo a distância vertical entre a superfície do solo e a extremidade da haste principal da planta de amendoim, com o auxílio de uma trena graduada. O resultado foi expresso em cm.
- **Número de folhas**: executada através da contagem de folhas por planta em cada parcela experimental.
- **Número de ramos por planta**: quantidade total de ramos (primários e secundários) contados manualmente em cada planta da parcela experimental.
- Diâmetro de caule: medição realizada a dois centímetros da superfície do

solo por meio do uso de um paquímetro digital. Os resultados foram expressos em mm.

A variável índice de clorofila Falker foi avaliada aos 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a emergência. A determinação indireta do teor de clorofila foi realizada através das médias de leituras de cinco folhas aleatórias por parcela com o auxílio do clorofilômetro portátil da marca Falker, modelo ClorofiLOG® CFL1030.

O corte das plantas de amendoim foi realizado aos 120 dias após a emergência e as variáveis analisadas foram:

- Massa seca da parte aérea: as plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel identificados e colocadas para secar em estufa com ventilação forçada a 65 °C até massa constante e pesadas em balança semianalítica.
- Massa seca de raiz por camada: as raízes foram lavadas por camada, secas a sombra por 24 horas e, em seguida, foram extraídos os nódulos em cada camada. Posteriormente, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel identificados e levadas para estufa com ventilação forçada a 65 °C até massa constante e pesadas em balança semianalítica.
- Massa seca de raiz total: determinada pela soma dos valores encontrados em todas as camadas da parcela.
- Massa seca total: obtida pela soma da massa seca da parte aérea e da massa total das raízes.
- Relação massa seca da parte aérea pela massa seca de raiz: adquirida pela divisão da massa seca da parte aérea total pela massa seca total de raízes por parcela.
- Volume de raiz por camada: determinada colocando-se as raízes de cada camada em proveta graduada, contendo um volume conhecido de água. Pela diferença, foi obtida a resposta direta do volume de raízes, pela equivalência de unidades (1 ml = 1 cm³), segundo metodologia descrita por Basso (1999).
- **Volume de raiz total**: obtida pela soma dos valores encontrados em todas as camadas da parcela.

- **Número de nódulos por camada**: a contagem dos nódulos por camada foi executada manualmente após serem retirados das raízes com o auxílio de uma pinça.
- Número de nódulos total: obtido pela soma de todos os nódulos da parcela.
- Massa seca de nódulos por camada: os nódulos após a contagem por camada foram acondicionados em sacos de papel identificados e levados para estufa com ventilação forçada a 65 °C até massa constante e pesados em balança analítica:
- Massa seca de nódulos total: obtida pela soma das massas de nódulos por cada parcela.
- **Número de vagens:** adquirida pela contagem das vagens por parcela experimental.
- **Número de grãos**: feita pela retirada dos grãos das vagens por unidade experimental e, posterior, contagem.
- Massa seca dos grãos: os grãos de cada parcela foram identificados, levados para estufa com ventilação forçada a 65 °C até massa constante e pesados em balança semianalítica.
- Concentração de nitrogênio na parte aérea e nos grãos: após secagem e moagem das amostras, foi feita a análise de nitrogênio pelo método micro Kjeldahl, seguindo os princípios descritos por Malavolta et al. (1997), Instituto Adolfo Lutz (2005) e Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (2017).

A análise de nitrogênio por Kjeldahl possibilita a determinação indireta do nitrogênio em plantas permitindo avaliar o seu estado nutricional (NOGUEIRA; SOUZA, 2005).

O método abrange três etapas, digestão, destilação e titulação. Na etapa de digestão, uma amostra do tecido vegetal (0,1 g) é dissolvida em solução concentrada de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e aquecida. Nesse processo, ocorre a oxidação da matéria orgânica e o nitrogênio orgânico é convertido em amoniacal, conforme as reações abaixo (SILVA, 1990):

Matéria Orgânica
$$\frac{H_2SO_4}{\Delta} SO_2 + CO_2 + H_2O + R - NH_2$$

$$R - NH_2 + H_2O \qquad \frac{H_2SO_4}{\Delta} R - OH + NH_3$$

$$R - C + H_2O \qquad \frac{[H^+]}{\Delta} R - C + NH_3$$

$$2NH_3 + H_2SO_4 \qquad - NH_4)_2SO_4$$

Na etapa da destilação, o sulfato de amônio é tratado com hidróxido de sódio (NaOH) a 40%, causando a liberação de amônia dentro de um volume conhecido de uma solução de ácido bórico (H₃BO₃) com indicador, formando borato de amônia. As reações que elucidam esse processo estão a seguir (SILVA, 1990):

$$(NH_4)_2SO_4 + 2 NaOH \longrightarrow 2 NH_4OH + Na_2SO_4$$

$$NH_4OH \longrightarrow NH_3 + H_2O$$

$$H_3BO_3 + NH_3 \longrightarrow NH_4H_2BO_3$$

A última etapa corresponde à titulação da solução de borato de amônio contendo como indicador uma solução mista (vermelho de metila e verde de bromocresol) com solução padronizada de ácido sulfúrico 0,1 molar até a viragem do pH. O nitrogênio total é determinado por meio da seguinte equação (3):

$$N (\%) = \frac{(Va - Vb) \times M \times 14 \times 100}{Pa \times 1000}$$
 (3)

Onde:

N (%) = teor de nitrogênio total na amostra (%);

Va = volume da solução de ácido sulfúrico (0,1 M) gasto na titulação da amostra (mL);

Vb = volume da solução de ácido sulfúrico (0,1 M) gasto na titulação do branco (mL); M = molaridade real da solução de ácido sulfúrico (mol/L);

14 = massa molar do nitrogênio (g/mol);

Pa = peso da amostra (g);

100/1000 = fator de conversão de unidades dimensionais (g kg⁻¹ para %), para expressar o resultado em %.

Obs: o resultado foi expresso em g kg⁻¹ multiplicando-se o resultado por 10.

• Proteína bruta na parte aérea e nos grãos: valor obtido pela multiplicação do teor de nitrogênio total encontrado pelo método de micro Kjeldahl por um fator que converte o nitrogênio em proteína. Esse fator em geral, é 6,25, considerando que a amostra analisada contenha 16% de nitrogênio (GALVANI; GAERTNER, 2006). Assim, a proteína bruta foi calculada pela equação abaixo:

$$PB (\%) = N(\%) \times 6,25 \tag{4}$$

Obs: o resultado foi convertido para g kg⁻¹, multiplicando-se o valor por 10.

• Acúmulo de nitrogênio na parte aérea e nos grãos: obtido pela multiplicação da concentração de nitrogênio (g Kg⁻¹) da parte aérea (equação 5) e dos grãos (equação 6) por suas respectivas massas secas:

Ac. N na parte aérea =
$$N \times MSPA$$
 (5)

Onde:

Ac. N na parte aérea = acúmulo de nitrogênio na parte aérea (g);

N = teor de nitrogênio em g Kg⁻¹;

MSPA = massa seca da parte aérea por repetição em Kg.

Obs: o resultado foi multiplicado por 1000 e expresso em mg.

Ac. N nos grãos =
$$N \times MSGR$$
 (6)

Onde:

Ac. N nos grãos = acúmulo de nitrogênio nos grãos (g);

N = teor de nitrogênio em g Kg⁻¹;

MSGR = massa seca dos grãos por repetição em Kg.

Obs: o resultado foi multiplicado por 1000 e expresso em mg.

3.9. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos ao Teste de Tukey a até 5% de probabilidade através do Programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Altura de plantas

Os resultados para altura de plantas de amendoim foram independentes, não apresentando interação entre os tratamentos e o condicionamento do solo.

Aos 30 e 60 dias após a emergência houve significância para os tratamentos a 1% de probabilidade (Tabela 5). Aos 90 dias após a emergência, os tratamentos foram significativos a 5% (Tabela 5). Em relação à condição de solo (com e sem compactação) houve efeito significativo a 1% de probabilidade aos 30 e aos 60 dias após a emergência (Tabela 6).

Tabela 5 – Altura de plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tretementee	Altura de plantas (cm)			
Tratamentos	30 dias**	60 dias**	90 dias [*]	
MT 15	23,10 a	28,25 a	30,45 a	
Inoculante Comercial	22,76 ab	26,66 ab	28,92 ab	
MT 15 + A. brasilense	23,10 a	26,71 ab	29,43 ab	
Testemunha Nitrogenada	23,16 a	29,21 a	30,35 a	
Testemunha Absoluta	20,56 b	22,91 b	24,63 b	
CV (%)	7,00	10,24	12,70	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% (*) e a 5% (*) de probabilidade.

Tabela 6 – Altura de plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	A	Altura de plantas (cm)			
Condição do Solo	30 dias**	60 dias ^{**}	90 dias ^{ns}		
Não Compactado	23,37 a	28,05 a	29,74 a		
Compactado	21,71 b	25,45 b	27,77 a		
CV (%)	7,00	10,24	12,70		

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade. ns: não significativo.

Em todas as análises, os valores encontrados para os tratamentos inoculados (MT 15) e coinoculados não se diferenciaram dos tratamentos com adição de nitrogênio e contendo inoculante comercial. Isso evidencia que a simbiose entre o amendoim e rizóbios de forma isolada ou em associação com o *Azospirillum brasilense* (por meio da coinoculação) foi capaz de fixar o nitrogênio atmosférico e fornecê-lo às plantas, de forma similar ao adubo nitrogenado e ao inoculante para a cultura existente no mercado.

Esses resultados comprovam ainda mais a relevância da fixação biológica de nitrogênio para as plantas leguminosas crescerem e se desenvolverem (BERGENSEN et al., 1992; HUNGRIA et al., 1998; HUNGRIA et al., 2001; HUNGRIA et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2016).

Santos et al. (2017 a) observaram que a inoculação isolada de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e a coinoculação com ambos influenciou de forma significativa a altura de plantas de amendoim, com o maior valor de altura obtido no tratamento coinoculado. Silva et al. (2017) obtiveram com o tratamento coinoculado (*B. japonicum* + *A. brasilense*) maior altura de plantas de amendoim quando comparado ao tratamento controle (sem inoculação).

Entretanto, resultados diferentes foram encontrados por Santos et al. (2014) que não observaram diferença significativa entre os tratamentos inoculados e não inoculados no crescimento inicial do amendoim cultivar IAC Tatu. Muniz et al. (2016) também observaram o mesmo ao trabalharem com amendoim forrageiro cv. Amarillo.

Com relação ao solo não compactado ter apresentado maior altura do que o compactado deve-se ao fato de que a compactação diminui a macroporosidade e afeta a quantidade de oxigênio do solo (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000).

Com isso, a oxidação rápida do amônio a nitrato (SCHLOERRING et al., 2002), que corresponde à forma de maior absorção pelas plantas (LOPES, 1998; FORDE, 2000) fica comprometida. Além disso, em condições anóxicas ocorrem perdas de nitrato por desnitrificação (MUÑOZ et al., 2009; CHANG et al., 2011).

Ressalta-se também, que o aumento da densidade do solo acarreta a diminuição do fluxo de água e compromete o transporte dos nutrientes, que é feito, principalmente por fluxo de massa, como o nitrogênio, ou por difusão, como o fósforo (DOLAN et al., 1992; PEDROTTI et al., 1994, CLARK et al., 2003; REICHERT et al., 2003; MEDEIROS et al., 2005; ROCHA et al., 2008; CABRAL et al., 2012).

Farias et al. (2013) observaram redução significativa na altura de plantas de feijão guandu anão com o aumento dos níveis de compactação, corroborando com o comportamento do amendoim em solo compactado.

Logo, como o nitrogênio é componente de biomoléculas extremamente importantes e participa de vários processos fisiológicos na planta, sua falta afeta o seu crescimento de forma superior a qualquer outro nutriente (MIFLIN; LEA, 1976; HARPER, 1994; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; FAGAN et al., 2007).

Ademais, as plantas de amendoim do tipo Runner, como a IAC 503, apresenta haste principal vertical com a altura variando de 20 a 30 cm (GODOY et al., 2005) corroborando com os valores encontrados nesse estudo.

4.2. Número de folhas

Em relação à variável número de folhas, houve efeito significativo para os tratamentos a 1% de probabilidade, nas três análises realizadas (Tabela 7).

Tabela 7– Número de folhas de plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Número de folhas			
Tratamentos	30 dias**	60 dias**	90 dias ^{**}	
MT 15	77,63 a	195,88 a	206,00 a	
Inoculante Comercial	76,88 a	159,00 a	176,13 ab	
MT 15 + A. brasilense	82,50 a	192,88 a	218,88 a	
Testemunha Nitrogenada	81,38 a	202,13 a	227,63 a	
Testemunha Absoluta	64,00 b	99,50 b	126,75 b	
CV (%)	10,26	19,09	19,12	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

As plantas inoculadas com MT 15 e coinoculadas com *A. brasilense* foram semelhantes ao tratamento nitrogenado e ao inoculado com o produto comercial, indicando que o macronutriente nitrogênio foi suprido via FBN. Além disso, com a técnica da coinoculação utilizando bactérias promotoras do crescimento de plantas,

diversos outros benefícios são observados nas plantas, como o desenvolvimento vegetal pela produção de fitohormônios (DOBBELAERE et al., 2003).

Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2017 a) ao constatarem que a inoculação com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada e sistêmica influenciou o número de folhas de plantas de amendoim.

Isso ocorre porque o nitrogênio está intimamente ligado ao processo fotossintético (CHAPIN, 1980), pois é componente da molécula de clorofila (OLIVEIRA et al., 1996). A clorofila, entretanto, é encontrada no interior dos cloroplastos, que são organelas presentes nas folhas e nos caules jovens (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Como a principal função da folha é a realização da fotossíntese por meio de seus cloroplastos (TAIZ; ZEIGER, 2013), quanto maior o número de folhas, mais energia química é produzida sob a forma de ATP e moléculas orgânicas (KLUGE, 2008). Assim, a planta consegue realizar seu processo respiratório e biossintetizar aminoácidos e hormônios vegetais para o seu desenvolvimento (KLUGE, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Além disso, a bactéria associativa *A. brasilense*, utilizada na coinoculação desse estudo, produz fitohormônios (TIEN et al., 1979; BOTTINI et al., 1989; BAZZICALUPO; OKON, 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; KUSS et al., 2007), que atuam no crescimento das plantas e alteram a morfologia das raízes, o que possiblita uma maior exploração de água e nutrientes do solo (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000; ZAIED et al., 2003; BASHAN et al., 2004).

A compactação não interferiu na variável número de folhas do amendoim o que demonstra que a aquisição dos nutrientes e de água da solução do solo não foi comprometida por esse fator. Resultados diferentes foram obtidos por Farias et al. (2013) que observaram diminuição no número de folhas de feijão guandu anão à medida que a densidade do solo foi aumentada.

Isso pode ter ocorrido devido ao fato de que o aumento da resistência mecânica do solo provoca uma elevação do diâmetro das raízes na camada mais adensada (MATERECHERA et al., 1992; BENGOUGH et al. 1997) e favorece o crescimento de raízes laterais mais finas (Figura 24) para adentrarem aos pequenos poros (RUSSEL; GOSS, 1974).



Figura 24 – Raízes de plantas inoculadas com a estirpe MT 15 em solo compactado mostrando o desenvolvimento de raízes laterais mais finas: a) camada do anel superior; b) camada do anel inferior.

4.3. Número de ramos por planta

Os resultados para o número de ramos por planta, aos 30, 60 e 90 dias após a emergência apresentaram diferença significativa entre os tratamentos a 1% de probabilidade (tabela 8).

Tabela 8 – Número de ramos de plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Trotomontos	Número de ramos por planta				
Tratamentos	30 dias ^{**}	60 dias**	90 dias**		
MT 15	24,63 a	56,25 a	58,13 ab		
Inoculante Comercial	24,75 a	46,13 a	49,13 bc		
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	25,88 a	55,13 a	60,88 ab		
Testemunha Nitrogenada	25,88 a	58,00 a	63,50 a		
Testemunha Absoluta	20,38 b	30,13 b	36,25 c		
CV (%)	9,61	17,71	18,02		

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Devido a sua importância na síntese de diversos compostos biológicos, como aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos, o nitrogênio é essencial para o

desenvolvimento celular e dos tecidos vegetais (CHAPIN, 1980; PEREIRA et al., 1981; FERREIRA et al., 2017; TAIZ et al., 2017). Isso ficou comprovado nesse estudo, pois a testemunha absoluta (sem adubação e sem inoculação) apresentou o menor número de ramos em todas as avaliações.

Além disso, o estresse causado pela compactação não interferiu no número de ramos por planta de amendoim, exceto da testemunha absoluta, o que infere que esse fator não prejudicou a aquisição de nutrientes e de água do solo nos demais tratamentos. Resultados diferentes foram encontrados por Leonel et al. (2007 b) que obtiveram menor número de ramos para o amendoim cultivar IAC Tatu ST submetido a diferentes níveis de compactação do solo. Farias et al. (2013) também observaram menor número de ramos de plantas de feijão guandu anão com o aumento da densidade do solo.

Os tratamentos inoculados com o rizóbio MT 15 e coinoculados com *A. brasilense* apresentaram resultados iguais estatisticamente à testemunha nitrogenada e ao produto comercial para a cultura do amendoim aos 30 e 60 dias após a emergência, evidenciando a importância da FBN para a cultura do amendoim.

Esses resultados diferem de Santos et al. (2017 a) que não obtiveram diferença significativa entre os tratamentos controle, inoculados com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada para o número de hastes por planta de amendoim cultivar IAC Tatu ST.

Aos 90 dias após a emergência, o tratamento contendo o inoculante comercial apresentou resultado semelhante à testemunha absoluta. Isso pode ter ocorrido devido à morte de plantas desse tratamento causada pela murcha de *Sclerotium*.

4.4. Diâmetro de caule

Para o diâmetro de caule, os resultados em relação aos tratamentos, foram significativos a 1% de probabilidade para as três análises realizadas (tabela 9).

Tabela 9 – Diâmetro de caule de plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamantaa	Diâmetro de caule (mm)			
Tratamentos	30 dias ^{**}	60 dias**	90 dias**	
MT 15	3,017 bc	3,239 a	3,609 ab	
Inoculante Comercial	3,200 ab	3,233 a	3,480 bc	
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	3,306 a	3,385 a	4,055 a	
Testemunha Nitrogenada	3,107 abc	3,258 a	3,742 ab	
Testemunha Absoluta	2,959 c	2,875 b	3,081 c	
CV (%)	5,21	4,42	9,11	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Aos 30 dias após a emergência verificou-se que os tratamentos coinoculados, com inoculante comercial e com nitrogênio apresentaram os mesmos valores para o diâmetro de caule. Aos 90 dias após a emergência observou-se resultados similares entre a estirpe MT 15, a associação MT 15 + *A. brasilense* e a testemunha nitrogenada.

O tratamento coinoculado mostrou desempenho satisfatório em relação ao diâmetro de caule do amendoim. Isso pode ter ocorrido porque além de fixar nitrogênio, o *A. brasilense* também produz fitohormônios como auxinas (SPAEPEN; VANDERLEYDEN, 2015), citocininas (TIEN et al., 1979), giberelinas (BOTTINI et al., 1989), ácido abscísico (COHEN et al., 2008), entre outros, ligados diretamente ao crescimento dos vegetais e ao favorecimento para exploração de maior volume de água e nutrientes no solo.

Aos 60 dias após a emergência, todos os tratamentos foram semelhantes, com exceção da testemunha absoluta, que apresentou o menor valor, indicando que os rizóbios nativos do solo não foram eficientes no processo de FBN. Desta forma, fica clara a importância de pesquisas voltadas à obtenção de estirpes eficientes que promovam incrementos na cultura do amendoim.

Ademais, a compactação não influenciou o diâmetro de caule nesse estudo diferindo de Leonel et al. (2007 b) que observaram a redução do diâmetro dos ramos de amendoim cultivar IAC 886 conforme aumentavam-se os níveis de compactação do solo.

4.5.Índice de clorofila Falker

Aos 30 e 90 dias, os tratamentos foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 10).

Tabela 10 – Índice de clorofila Falker em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentas	Índice de clorofila Falker		
Tratamentos	30 dias**	90 dias ^{**}	
MT 15	41,13 ab	54,19 a	
Inoculante Comercial	43,13 a	52,08 a	
MT 15 + A. brasilense	42,91 a	52,54 a	
Testemunha Nitrogenada	42,08 ab	55,14 a	
Testemunha Absoluta	38,30 b	42,55 b	
CV (%)	7,10	6,92	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Nas análises realizadas aos 30 e 90 dias após a emergência, os tratamentos inoculados (MT 15) e coinoculados apresentaram bom desempenho não se diferenciando da testemunha nitrogenada e do produto comercial para a cultura do amendoim. A testemunha absoluta apresentou o menor resultado para o índice de clorofila Falker, o que indica um baixo desempenho da fixação biológica de nitrogênio dos rizóbios nativos do solo.

Esses resultados diferem dos obtidos por Santos et al. (2014) que não obtiveram significância para o índice SPAD entre plantas inoculadas e não inoculadas de amendoim cultivar IAC Tatu. Silva et al. (2016 a) também não encontraram diferença significativa nos índices de clorofila a, b e total do amendoinzeiro cultivado em substratos orgânicos distintos e inoculados com a estirpe SEMIA 6144.

O índice de clorofila pode ser obtido via medição indireta do teor de clorofila presente na folha através do uso de um medidor portátil ou clorofilômetro (BLACKMER; SCHEPERS, 1995; MALAVOLTA et al., 1997; VARVEL et al., 1997). O clorofilômetro quantifica a intensidade de luz na cor verde (650 nm) que a folha reflete sem danificar o tecido vegetal (YADAVA, 1986), sendo uma importante

ferramenta para avaliar a necessidade de nitrogênio da planta (MALAVOLTA et al., 1997).

Desta forma, estima-se que o nutriente nitrogênio foi fornecido de forma eficiente via FBN, pois os resultados para o índice de clorofila Falker das plantas nitrogenadas foram semelhantes às plantas inoculadas e coinoculadas, reforçando a proporcionalidade entre o teor de clorofila e a concentração de nitrogênio foliar (MALAVOLTA et al., 1997; AMARAL FILHO et al., 2005; DIDONET et al., 2005; SILVA et al., 2010).

Além disso, o estresse causado pela compactação não comprometeu o desenvolvimento das plantas de amendoim aos 30 e 60 dias após a emergência.

Aos 60 dias após a emergência, houve interação entre os tratamentos e a condição do solo a 5 % de probabilidade (Tabela 11).

Tabela 11 – Índice de clorofila Falker em plantas de amendoim, aos 60 dias após a emergência, em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentes	Índice Falker aos 60 dias			
Tratamentos	Compactado [*]	Não Compactado		
MT 15	55,04 aA	49,10 aB		
Inoculante Comercial	51,67 abA	48,34 aA		
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	49,51 bA	49,67 aA		
Testemunha Nitrogenada	54,30 abA	50,12 aB		
Testemunha Absoluta	39,64 cA	42,61 bA		
CV (%)		5,19		

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% () de probabilidade.

Na interação entre os tratamentos e o condicionamento do solo, observado aos 60 dias após a emergência, verificou-se que para o solo compactado a estirpe MT 15 obteve o melhor valor para o índice Falker. Esse resultado demonstra que a estirpe conseguiu se sobressair ao estresse causado pelo aumento da densidade do solo. Isso pode ter ocorrido pela eficiência competitiva do rizóbio MT 15 no processo de infecção das raízes em relação aos rizóbios nativos do solo, o que acarretou num processo de fixação mais eficiente, suprindo a planta com os compostos nitrogenados necessários ao seu adequado desenvolvimento.

O amendoim é capaz de nodular com uma ampla faixa de rizóbios nativos que apresentam, muitas vezes, alta competitividade, porém baixa eficiência no processo de fixação (SANTOS et al., 2007; THIES et al., 1991). Por isso, é tão difícil estabelecer uma simbiose rizóbio-amendoim eficiente (BORGES et al., 2007). A estirpe MT 15 tem apresentado resultados promissores em vários estudos realizados com diferentes culturas, como feijão guandu (GUIMARÃES et al., 2016) e feijão caupi (SILVA et al., 2016 b), evidenciando o seu potencial para o uso como inoculante no Brasil.

Em relação ao solo não compactado, os maiores valores para o índice de clorofila Falker foram encontrados para o tratamento com inoculante comercial e o tratamento coinoculado (MT 15 + *A. brasilense*).

O inoculante comercial para a cultura do amendoim já está no mercado há 25 anos e era esperado que os resultados fossem satisfatórios, mesmo sendo comprovado nesse estudo que para muitas variáveis não foi sempre isso o observado.

No que se refere ao tratamento coinoculado o efeito sinérgico entre os dois micro-organismos refletiu num maior acúmulo de nitrogênio foliar aos 60 dias (metade do ciclo da cultura). Isso porque além de fixar nitrogênio, o *A. brasilense*, como já citado anteriormente, tem a capacidade de solubilizar fosfatos (RODRIGUEZ et al., 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; HUNGRIA et al., 2010; INAGAKI et al., 2014), de produzir fitohormônios, os quais podem favorecer um melhor crescimento do sistema radicular, ampliando a área de exploração das raízes e a produção de exsudatos pelas mesmas, como flavonoides e isoflavonóides (BOTTINI et al., 1989; BURDMAN et al., 1996; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A produção desses exsudatos atrai a bactéria, como a MT 15, estimulando o processo de nodulação (BURDMAN et al., 1996).

Devido a essas vantagens do *Azospirillum* que promove o crescimento das plantas, Bashan e de-Bashan (2010) apresentaram a "teoria de múltiplos mecanismos" que consiste na ação cumulativa ou sequencial de efeitos da bactéria que resultam em mecanismos simultâneos ou consecutivos (FUKAMI et al., 2018).

4.6. Massa seca da parte aérea

Para a variável massa seca da parte aérea houve efeito significativo em relação aos tratamentos a 1% de probabilidade (Tabela 12).

Tabela 12 — Massa seca da parte aérea de plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Massa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)**
MT 15	25,46 a
Inoculante Comercial	21,09 ab
MT 15 + A. brasilense	25,04 a
Testemunha Nitrogenada	24,09 a
Testemunha Absoluta	13,50 b
CV (%)	27,88

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

As plantas inoculadas com o rizóbio MT 15 e coinoculadas com MT 15 + *A. brasilense* apresentaram resultados semelhantes à testemunha nitrogenada e ao inoculante comercial para a cultura do amendoim. Logo, as rizobactérias utilizadas foram capazes de prover o nitrogênio necessário para o desenvolvimento adequado da parte aérea das plantas de amendoim. De acordo com Bashan (1998) há sinergismo no uso combinado de micro-organismos, e isso, melhora aspectos fisiológicos tanto dos micro-organismos quanto da planta hospedeira, podendo, por exemplo, aumentar a eficiência da inoculação e, consequentemente, estimular o crescimento vegetal.

O nitrogênio tem grande relevância na produção de matéria seca por compor a molécula de clorofila, influenciando a fotossíntese e promovendo o crescimento das plantas (SILVEIRA; DAMASCENO 1993; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Santos et al. (2005) ao trabalharem com a inoculação de rizóbios nativos da região Nordeste do Brasil em plantas de amendoim obtiveram produção de matéria seca da parte aérea semelhante ao tratamento contendo nitrogênio mineral para a cultivar IAC Tatu.

Em seus estudos com isolados de rizóbios nativos da região semiárida do Nordeste brasileiro, Santos et al. (2017 b) constataram que os rizóbios ESA 82, ESA

83, ESA 85, ESA 123 e SEMIA 6144 obtiveram resultados de matéria seca do amendoim semelhantes ao tratamento contendo nitrogênio mineral, corroborando com os resultados encontrados nesse experimento.

Santos et al. (2017 a) comprovaram que a coinoculação com *B. japonicum* e *A. brasilense* proporcionaram maiores resultados de matéria seca da parte aérea e total em amendoim cultivar IAC Tatu ST.

Chibeba et al. (2015) em casa de vegetação não observaram diferença significativa entre os tratamentos inoculados e coinoculados para soja em relação à massa seca da parte aérea. Já no campo, verificaram que aos 18 e 21 dias após a emergência, os tratamentos coinoculados com *A. brasilense* apresentaram maior massa seca da parte aérea quando comparado ao inoculado com *Bradyrhizobium*.

A compactação, novamente, não influenciou o desenvolvimento da parte aérea do amendoim cultivar IAC 503 em nenhum dos tratamentos, diferindo de Bonfim-Silva et al. (2015) que observaram redução da massa seca da parte aérea em feijão de porco com o aumento dos níveis de compactação.

4.7. Massa seca de raiz por camada

Para a camada 1 (anel superior), os resultados foram significativos em relação aos tratamentos estudados, a 1% de probabilidade (Tabela 13). Em relação às camadas 2 (anel central) e 3 (anel inferior), foram significativos tantos os tratamentos quanto o condicionamento do solo a 1% de probabilidade, com exceção dos tratamentos da camada 3 que foram a 5% (Tabelas 13 e 14). Não houve interação entre os dois fatores.

Tabela 13 – Massa seca de raiz por camada em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Trotomontoo	Massa seca de raiz por camada (g vaso ⁻¹)				
Tratamentos	Camada 1**	Camada 2**	Camada 3 [*]		
MT 15	2,51 a	1,14 a	1,09 ab		
Inoculante Comercial	2,50 a	0,95 a	0,84 ab		
MT 15 + A. brasilense	2,64 a	0,80 ab	1,19 a		
Testemunha Nitrogenada	2,45 a	0,79 ab	1,13 ab		
Testemunha Absoluta	1,04 b	0,39 b	0,53 b		
CV (%)	16,00	15,86	15,64		

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% (*) e a 5% (*) de probabilidade. Dados transformados para raiz quadrada na camada 1 e para raiz quadrada de Y + 0,5, nas camadas 2 e 3.

Tabela 14 – Massa seca de raiz por camada em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Massa seca de raiz por camada (g vaso ⁻¹)			
Condição do solo	Camada 1 ^{ns}	Camada 2**	Camada 3**	
Não Compactado	2,33 a	1,16 a	1,16 a	
Compactado	2,13 a	0,47 b	0,75 b	
CV (%)	16,00	15,86	15,64	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% () de probabilidade. ^{ns}: não significativo. Dados transformados para raiz quadrada na camada 1 e para raiz quadrada de Y + 0,5 nas camadas 2 e 3.

A FBN mostrou-se como uma alternativa exequível, onde a inoculação com a estirpe MT 15 e a coinoculação MT 15 + *A. brasilense* apresentaram resultados satisfatórios para a massa seca de raiz por camada.

Ao observar a camada 1 (0 - 0,10 m), onde não havia nenhum impedimento mecânico, verificou-se que as raízes apresentaram um maior desenvolvimento radicular, acarretando em maior massa seca produzida tanto em solo compactado quanto em solo não compactado (Tabelas 13 e 14). Esse resultado corrobora com Borges et al. (2000) que obtiveram em plantas de soja inoculadas com SEMIA 5079 e SEMIA 5080 para todos os níveis de compactação a maior produção de raízes na camada superficial.

Nas camadas 2 (0,10-0,20 m) e 3 (0,20-0,30 m) houve redução do crescimento radicular influenciado tanto pelos tratamentos quanto pela condição do

solo. Observou-se que o nitrogênio fornecido via FBN e via adubação proporcionou um equilíbrio no fornecimento de fotoassimilados tanto para a parte aérea quanto para as raízes, permitindo que não houvesse diferença entre os tratamentos, exceto para a testemunha absoluta (Tabela 13).

A redução no teor de massa seca verificado na camada 2 (Tabelas 13 e 14) ocorreu porque para que haja o desenvolvimento radicular é necessário que a pressão de crescimento das raízes seja maior que a resistência mecânica oferecida pelo solo à penetração (PASSIOURA, 1991), o que não é observado em solos compactados. Além disso, com o aumento da densidade do solo ocorrem alterações na sua porosidade total, no número e tamanhos de seus poros e na sua aeração, afetando o crescimento radicular (TAYLOR; BRAR, 1991).

As raízes na camada compactada tendem a aumentar o seu diâmetro buscando exercer pressão para dilatar o poro (MATERECHERA, 1992) ou ainda, podem diminuir o mesmo e penetrar nos pequenos poros, devido ao desenvolvimento de raízes laterais mais finas (RUSSEL; GOSS, 1974). Essas duas condições foram observadas nesse experimento no processo de lavagem das raízes contidas no anel com solo compactado.

Na camada 3 (anel inferior) dos vasos que sofreram compactação constatouse a presença de raízes muito finas (Figura 25) que conseguiram transpor a camada compactada.



Figura 25 – Raízes de plantas inoculadas com a estirpe MT 15 da camada 3 (anel inferior) mostrando o desenvolvimento de raízes laterais mais finas.

Esse desenvolvimento no anel inferior ocorreu, principalmente, pela busca por água, visto que a partir de certo período, a irrigação foi feita somente nos pratos plásticos que ajudavam a compor o fundo dos vasos. Além disso, no solo sem compactação, o desenvolvimento radicular nessa camada foi igual ao da camada 2 por não haver impedimento mecânico às raízes.

Resultados semelhantes foram encontrados por Bonfim-Silva et al. (2015) que observaram para o feijão de porco que as suas raízes conseguiram ultrapassar a camada compactada (1,4 e 1,6 Mg m⁻³) e se desenvolverem no anel inferior.

4.8. Massa seca de raiz total

Em relação à massa seca de raiz total, os resultados foram significativos para os tratamentos e para a condição do solo a 1% de probabilidade (Tabelas 15 e 16), não havendo interação entre os dois fatores.

Tabela 15 – Massa seca de raiz total em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Massa seca de raiz total (g vaso ⁻¹)**
MT 15	4,74 a
Inoculante Comercial	4,29 a
MT 15 + A. brasilense	4,63 a
Testemunha Nitrogenada	4,36 a
Testemunha Absoluta	1,95 b
CV (%)	28,18

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Tabela 16 – Massa seca de raiz total em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Massa seca de raiz total (g vaso ⁻¹)**
Não Compactado	4,65 a
Compactado	3,34 b
CV (%)	28,18

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Com esse estudo observou-se que em relação aos tratamentos, as plantas inoculadas com a estirpe MT 15 e coinoculadas apresentaram os mesmos resultados da testemunha nitrogenada e do inoculante comercial para a cultura do amendoim. Isso indica que o nitrogênio fornecido via fixação biológica foi suficiente para o desenvolvimento radicular das plantas de amendoim, independentemente do solo estar ou não compactado.

Resultados divergentes foram encontrados por Santos et al. (2014) que não encontraram efeito significativo para a massa seca de raiz das plantas de amendoim cultivar IAC Tatu inoculadas e não inoculadas. Santos et al. (2017 a) em seus resultados, também não observaram efeito significativo para a massa seca de raiz entre as sementes de amendoim inoculadas com *B. japonicum* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada para o amendoim cultivar IAC Tatu ST.

Já Muniz et al. (2016) verificaram maior massa seca radicular para os tratamentos inoculados com rizóbio e adubado com nitrogênio em relação ao tratamento controle em amendoim forrageiro cultivar Amarillo. Santos et al. (2017 b) também observaram maior massa seca de raiz tanto para tratamentos inoculados ESA 86, ESA 81, ESA 82, ESA 123, SEMIA 6144 quanto para o adubado com nitrogênio.

Para a condição de solo (Tabela 16), o não compactado apresentou maior produção de massa seca de raízes, corroborando, também, com os resultados de massa seca radicular por camada A compactação reduz a porosidade total do solo, a aeração e a infiltração de água (ROSSETI; CENTURION, 2017) e aumenta a resistência mecânica à penetração das raízes (BENGOUGH et al., 2011). A elevada resistência do solo à penetração reduz a força da coifa radicular na região meristemática o que dificulta o alongamento (ROSSETI; CENTURION, 2017). Além disso, em solo compactado há menor disponibilidade de oxigênio e o processo respiratório das raízes é dependente da quantidade desse gás presente no solo para que o seu crescimento seja adequado (HAKANSSON; VOORHEES, 1998; PARENTE; MAIA, 2011). Assim, a junção desses fatores contribuiu para o menor desenvolvimento radicular do amendoim em solo compactado inferindo em numa baixa produção de massa seca de suas raízes.

4.9. Massa seca total

Para a massa seca total houve diferença significativa apenas para os tratamentos a 1% de probabilidade (Tabela 17).

Tabela 17 Massa seca total em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Massa seca total (g vaso ⁻¹)
MT 15	30,20 a
Inoculante Comercial	25,38 ab
MT 15 + A. brasilense	29,66 a
Testemunha Nitrogenada	28,45 a
Testemunha Absoluta	15,45 b
CV (%)	26,54

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Os resultados observados na Tabela 17 indicam o bom desempenho dos tratamentos inoculados (MT 15) e coinoculados (MT 15 + *A. brasilense*) que apresentaram valores de massa seca total igual ao inoculante comercial para o amendoim e à testemunha nitrogenada. Isso evidencia que a fixação biológica de nitrogênio foi efetiva e, capaz de suprir à planta com esse macronutriente, possibilitando o desenvolvimento adequado da cultura.

Segundo Parsons & Sunley (2001) devido ao nitrogênio ser componente das moléculas bioquímicas essenciais ao desenvolvimento vegetal, o acúmulo de matéria seca nos vegetais representa que a aquisição desse nutriente foi realizada de forma eficiente.

Santos et al. (2017 a) obtiveram o maior resultado para massa seca total nas sementes coinoculadas (*B. japonicum* + *A. brasilense*) em relação aos demais tratamentos.

O baixo valor de massa seca para a testemunha absoluta indica que a MT 15 em simbiose com o amendoim foi mais eficaz no processo de FBN do que os rizóbios nativos do solo. O amendoim estabelece simbiose com uma série de rizóbios, sendo considerada uma planta promíscua (CUNHA et al., 2013; TORRES-

JÚNIOR et al., 2014). Logo, a MT 15 mostrou-se uma estirpe com capacidade de competir com os rizóbios nativos do solo.

4.10. Relação massa seca da parte aérea pela massa seca de raiz

Para essa variável, houve significância para a condição do solo a 5% de probabilidade (Tabela 18).

Tabela 18 – Relação massa seca da parte aérea pela massa seca de raiz em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Relação peso seco da parte aérea pelo peso seco de raiz ๋
Não Compactado	5,27 b
Compactado	6,52 a
CV (%)	29,96

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% () de probabilidade.

O maior valor para a relação massa seca da parte aérea/ massa seca de raiz foi encontrado para o solo compactado, pois o mesmo apresentou uma menor produção de raiz quando comparado ao solo sem compactação. Logo, quando se divide um valor x por um denominador menor, o resultado será sempre maior.

As raízes são relevantes no processo de absorção de água e nutrientes e, também, na produção de reguladores de crescimento, como as citocininas (REIS et al., 2006). As citocininas apresentam movimento acropetal chegando aos locais de crescimento da parte aérea, tornando-os mais resistentes para adquirir reservas necessárias ao desenvolvimento vegetal (LARCHER, 2000).

Além disso, os rizóbios também produzem ácido indolacético - AIA (MUNIZ et al., 2016) em quantidades diferentes que irão influenciar o desenvolvimento radicular e o aumento das raízes (CHAGAS et al., 2009; MUNIZ et al., 2011), afetando, consequentemente, o valor da relação parte aérea/raiz.

De acordo com Taiz & Zeiger (2013) a relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca de raiz demonstra uma correlação funcional entre o processo fotossintético e a absorção de água via radicular, gerando equilíbrio na distribuição da matéria seca entre as duas partes da planta em condições normais para o

desenvolvimento. Assim, o estresse causado pela compactação causou o desequilíbrio entre os dois órgãos da planta que não conseguiram manter um crescimento similar entre a parte aérea e as raízes, explicando o maior resultado encontrado para essa condição do solo.

4.11. Volume de raiz por camada

Com relação ao volume de raiz da camada 1 (0 – 0,10 m), somente os tratamentos foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 19). Para a camada 2, houve significância para os tratamentos e o condicionamento do solo a 1% de probabilidade (Tabelas 19 e 20). Na camada 3, somente a condição do solo foi significativa a 5% de probabilidade (Tabelas 19 e 20). Não houve interação entre os dois fatores.

Tabela 19 – Volume de raiz por camada em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Volume de raiz por camada (cm³)		
Tratamentos	Camada 1**	Camada 2**	Camada 3 ^{ns}
MT 15	6,75 a	3,38 a	3,88 a
Inoculante Comercial	5,75 a	2,88 a	2,63 a
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	6,13 a	2,88 a	3,75 a
Testemunha Nitrogenada	5,88 a	2,88 a	3,88 a
Testemunha Absoluta	2,75 b	1,50 b	2,13 a
CV (%)	24,67	29,82	29,84

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () e a 5% () de probabilidade . ns: não significativo. Dados transformados para raiz quadrada.

Tabela 20 – Volume de raiz por camada em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Volume de raiz por camada (cm³)		
	Camada 1 ^{ns}	Camada 2**	Camada 3 [*]
Não Compactado	5,70 a	3,25 a	1,16 a
Compactado	5,20 a	2,15 b	0,75 b
CV (%)	24,67	29,82	15,64

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () e a 5% () de probabilidade. ns: não significativo.

No que se refere aos tratamentos (Tabela 19), os resultados observados nas camadas 1 e 2 demonstraram que as plantas inoculadas com MT 15 e coinoculadas apresentaram os mesmos volumes radiculares dos tratamentos com inoculante comercial e com adubo nitrogenado. Dessa forma, constatou-se que o nitrogênio fornecido por meio da fixação biológica foi adequado ao desenvolvimento dos tecidos vegetais. Já na camada 3, os resultados para o volume de raízes ficaram muito próximos, não ocorrendo significância entre os tratamentos.

O sistema radicular do amendoim apresenta uma raiz principal pivotante com um grande número de ramificações laterais, as quais se subdividem acarretando num sistema de raízes bastante vigoroso (CAIRES; ROSOLEM, 1998). Isso possibilita à planta de amendoim explorar um maior volume de solo, em busca de água e nutrientes (BULGARELLI, 2008; GODOY, 2016). Apesar do sistema radicular do amendoim poder atingir entre 100 e 130 cm de profundidade (GREGORY et al., 1951; INFORZATO; TELLA, 1960) 60% em massa de suas raízes encontram-se na camada de solo de 0 a 30 cm (INFORZATO; TELLA, 1960; KRANS et al., 1980).

Para a condição de solo (Tabela 20), o compactado apresentou menor volume radicular quando comparado ao não compactado. Isso ocorreu porque com o adensamento causado pela compactação do solo, houve drástica redução dos macroporos (SÉGUY et al., 1999), da água disponível para as plantas e do teor de oxigênio (ALVARENGA et al., 1996; COSTA 1998), além do aumento da resistência mecânica à penetração (STONE et al., 2002), afetando de forma negativa o desenvolvimento das raízes.

Além disso, segundo alguns autores (LAL, 1989; ALVARENGA et al., 1996; CARDOSO et al., 2006; REINERT et al., 2008; VALADÃO et al., 2015; SCAPINELLI et al, 2016) o crescimento radicular em solos compactados ocorre preferencialmente

na camada superficial, corroborando com os resultados encontrados nesse estudo onde a camada 1 apresentou os maiores resultados de volume radicular quando comparados com às camadas 2 e 3.

4.12. Volume de raiz total

Para a variável volume de raiz total, os tratamentos e a condição do solo (com ou sem compactação) foram significativos a 1% de probabilidade (Tabelas 21 e 22). Não houve interação entre os dois fatores.

Tabela 21 Volume de raiz total em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Volume de raiz total (cm³)
MT 15	14,00 a
Inoculante Comercial	11,25 a
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	12,75 a
Testemunha Nitrogenada	12,63 a
Testemunha Absoluta	6,38 b
CV (%)	17,49

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Tabela 22 – Volume de raiz total em plantas de amendoim em função da condição

de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Volume de raiz total (cm³) [™]
Não Compactado	12,65 a
Compactado	10,15 b
CV (%)	17,49

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Os tratamentos inoculados (MT 15) e coinoculados apresentaram os mesmos valores da testemunha contendo nitrogênio e do inoculante disponibilizado no mercado para o amendoim. Desta forma observa-se que a FBN foi capaz de fornecer nitrogênio para as plantas, pois quando há deficiência desse

macronutriente, o crescimento de folhas e raízes é afetado (TAIZ; ZEIGER, 2013). Isso pôde ser observado na testemunha absoluta que apresentou os menores valores para todas as variáveis analisadas, inclusive para o volume radicular total.

O nitrogênio é essencial para o desenvolvimento vegetal, pois além de compor diversas biomoléculas (ATP, aminoácidos, enzimas, etc.), ainda participa dos processos fisiológicos como a respiração, a fotossíntese e a diferenciação celular e genética (MIFLIN; LEA, 1976; FAGAN et al., 2007; FERREIRA et al., 2017; TAIZ et al., 2017).

Para o condicionamento do solo, o que apresentou maior volume radicular foi o sem compactação. Esse resultado corrobora com o fato de que, quando não há compactação, não há impedimento mecânico ao desenvolvimento das raízes das plantas, que podem explorar um maior volume de solo em busca de água e nutrientes (HAKANSSON et al., 1998; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000). Além disso, não ocorrem problemas relacionados à má aeração do solo, como o acúmulo de CO_2 e a baixa difusão de O_2 (RUSSEL; RUSSEL, 1964). Pois quando o teor de O_2 é muito baixo no solo, há redução na pressão de turgescência da célula ou maior resistência da parede celular ao alongamento, afetando a expansão das raízes (SILVA et al., 2002).

4.13. Número de nódulos por camada

No que concerne ao número de nódulos, a camada 1 (0 - 0,10 m) apresentou significância somente para os tratamentos a 1% de probabilidade (Tabela 23). Para a camada 2 (0,10 - 0,20 m) houve interação significativa entre os tratamentos e a condição do solo (compactado e não compactado) a 1% de probabilidade (Tabela 24). Na camada 3 (0,20 - 0,30 m), os dados não foram significativos pelo Teste de Tukey (Tabela 23).

Tabela 23 – Número de nódulos nas camadas 1 e 3 em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentae	Número de nódulos		
Tratamentos	Camada 1**	Camada 3 ^{ns}	
MT 15	614,5 a	14,9 a	
Inoculante Comercial	477,3 ab	27,1 a	
MT 15 + A. brasilense	542,88 a	19,6 a	
Testemunha Nitrogenada	501,5 ab	34,5 a	
Testemunha Absoluta	296,8 b	7,5 a	
CV (%)	17,37	61,91	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 (*) de probabilidade e letras iguais não diferem entre si. não significativo. Dados transformados para raiz quadrada para a camada 1 e para raiz quadrada de y + 1 - SQRT(y + 1,0) para a camada 3.

Tabela 24 – Número de nódulos na camada 2 em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamantaa	Número de nódulos na camada 2		
Tratamentos	Compactado	Não Compactado	
MT 15	36,8 aB	175,8 bcA	
Inoculante Comercial	8,3 aB	222,8 abA	
MT 15 + A. brasilense	23,0 aB	265,3 aA	
Testemunha Nitrogenada	41,8 aB	204,3 abA	
Testemunha Absoluta	5,5 aB	105,8 cA	
CV (%)	2	21,63	

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1% () de probabilidade. Dados transformados para raiz quadrada.

A nodulação ocorreu nas 3 camadas analisadas nesse estudo. Porém, a maior nodulação ocorreu na camada superficial (0 - 0.10 m) ratificando os dados obtidos para a massa seca e volume de raiz por camada, que também apresentaram os maiores valores para essa profundidade.

O amendoim possui raiz principal profunda, mas a maior parte das ramificações está concentrada em baixas profundidades (KETRING; REID, 1993), o que explicaria o elevado número de nódulos nessa região. Além disso, em solos compactados, a máxima concentração de raízes, também ocorre na camada

superficial (LAL, 1989; ALVARENGA et al., 1996; CARDOSO et al., 2006; REINERT et al., 2008; VALADÃO et al., 2015; SCAPINELLI et al, 2016).

Com o desenvolvimento mais acentuado do sistema radicular verifica-se a ocorrência de maior área de atuação para os micro-organismos, maior número de sítios de infecção nas raízes e maior liberação de exsudatos, que irão refletir positivamente na nodulação da planta por criar condições oportunas ao povoamento microbiano (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

As raízes liberam exsudatos como aminoácidos, carboidratos, enzimas, proteínas, entre outros compostos que atraem os micro-organismos e que, também, desencadeiam as etapas para o estabelecimento da simbiose entre rizóbio-leguminosa (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; ROCHA, 2007).

Ademais, outra hipótese para essa distribuição dos nódulos, principalmente, na camada de 0 a 0,10 m é que os nódulos necessitam de grande quantidade de oxigênio para a sua formação e atividade e para a FBN (WEISZ; SINCLAIR, 1987), e o que se observa em maiores profundidades é o aumento de CO_2 e a redução de O_2 (VAN LIER, 2001).

Na Tabela 23, observou-se que os tratamentos inoculados com a estirpe MT 15 e coinoculados foram similares à testemunha nitrogenada e ao inoculante comercial para amendoim, diferindo somente da testemunha absoluta. De acordo com Hungria et al. (1997), Novo et al. (1999) e Hungria & Vargas (2000) as plantas suprem a demanda de nitrogênio para o seu desenvolvimento e produção de biomassa por meio da nodulação de suas raízes, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo.

Na camada 2 (Tabela 24), o número de nódulos para o solo compactado apresentou resultados similares entre todos os tratamentos. Já para o solo sem compactação o maior valor encontrado foi para o tratamento coinoculado (MT 15 + *A. brasilense*) com 265 nódulos. A combinação das duas bactérias proporcionou ao amendoim o suprimento de nitrogênio via FBN. Além disso, a bactéria associativa pode ter propiciado a produção de fitohormônios, que afeta consideravelmente o crescimento das raízes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; ARDAKANI; MAFAKHERI, 2011) e, a solubilização de fosfatos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; TURAN et al. 2012), que é essencial à formação da adenosina trifosfato (ATP), molécula chave nas diversas reações bioquímicas e, primordial, ao complexo nitrogenase (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; DUVAL et al., 2013).

4.14. Número de nódulos total

Para o número de nódulos total, houve diferença significativa entre os tratamentos e o condicionamento do solo a 1% de probabilidade (Tabelas 25 e 26). Não houve interação entre os dois fatores.

Tabela 25 – Número de nódulos total em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Número de nódulos total [™]
MT 15	735,6 a
Inoculante Comercial	619,9 a
MT 15 + A. brasilense	706,6 a
Testemunha Nitrogenada	659,0 a
Testemunha Absoluta	359,9 b
CV (%)	27,63

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Tabela 26 – Número de nódulos total em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Número de nódulos total ^{**}
Não Compactado	710,3 a
Compactado	522,2 b
CV (%)	27,63

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Em relação aos tratamentos, observou-se que as plantas inoculadas com MT 15 e as coinoculadas foram eficientes em fornecer o nitrogênio via FBN, se igualando ao tratamento que recebeu a adubação nitrogenada e ao inoculante comercial para a cultura vigente no mercado. Para Lopes et al. (1972) o número de nódulos variando de 39 a 53 já é tido como satisfatório para suprir a necessidade de nitrogênio em plantas de amendoim.

Muniz et al. (2016) não encontraram efeito significativo para o número de nódulos por planta de amendoim entre os tratamentos inoculados e sem inoculação, diferindo dos resultados encontrados nesse estudo.

Já Santos et al. (2017 a) e Silva et al. (2017) em seus experimentos com amendoim, observaram influência significativa da coinoculação (*B. japonicum* + *A. brasilense*) no número de nódulos por planta. Santos et al. (2014), também conseguiram efeito significativo no número de nódulos por plantas de amendoim cultivar IAC Tatu inoculadas com rizóbios isolados de feijão caupi. Santos et al. (2017 b) verificaram o maior número de nódulos em amendoim com o rizóbio isolado ESA 86 (174 nódulos planta⁻¹) em relação aos demais tratamentos.

Para a condição de solo (Tabela 26) verificou-se que a maior nodulação ocorreu no solo não compactado. Devido à compactação ocorre uma alteração na porosidade total, diminuição dos macroporos e comprometimento das trocas gasosas, principalmente a difusão de O₂ (COSTA, 1998; RIBEIRO, 1999; STONE et el., 2002; KLEIN et al., 2008). Isso produz um ambiente redutor com geração de elementos tóxicos prejudiciais à microbiota do solo, principalmente aos fixadores de nitrogênio (VOMOCIL; FLOCKER, 1961; NUIERNBERG, 1983).

O ambiente redutor afeta, especialmente, os micro-organismos que fixam nitrogênio, por influenciar negativamente o desenvolvimento radicular, diminuindo a rizosfera, o habitat e os sítios de infecção e, também, por provocar estímulos seletivos negativos (NUIERNBERG, 1983).

Além disso, os efeitos da compactação sobre os micro-organismos comprometem a solubilização dos fosfatos e, consequentemente, a formação de ATP e a FBN (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Também influenciam a difusão do fósforo até as raízes (MALAVOLTA, 2006), sendo um elemento importante para o seu crescimento (TIBAU, 1984).

4.15. Massa seca de nódulos por camada

Na camada 1 (0 – 0,10 m), a massa seca de nódulos foi significativa a 1% de probabilidade somente para os tratamentos (Tabela 27). Para a camada 2 (0,10 – 0,20 m), a condição do solo foi significativa a 1% de probabilidade (Tabela 28). Na camada 3 (0,20 -0,30 m), nenhum valor foi significativo (Tabelas 27 e 28).

Tabela 27 – Massa seca de nódulos por camada em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Trotomontoo	Massa seca de nódulos por camada (g vaso ⁻¹)			
Tratamentos	Camada 1**	Camada 3 ns		
MT 15	0,242 a	0,025 a	0,005 a	
Inoculante Comercial	0,217 a	0,032 a	0,008 a	
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	0,219 a	0,030 a	0,005 a	
Testemunha Nitrogenada	0,196 a	0,037 a	0,009 a	
Testemunha Absoluta	0,115 b	0,024 a	0,003 a	
CV (%)	17,89	28,98	66,17	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 (") de probabilidade e letras iguais não diferem entre si. não significativo. Dados transformados para raiz quadrada nas três camadas.

Tabela 28 – Massa seca de nódulos por camada em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Massa seca de	Massa seca de nódulos por camada (g vaso ⁻¹)		
	Camada 1 ^{ns}	Camada 2**	Camada 3 ns	
Não Compactado	0,20 a	0,051 a	0,005 a	
Compactado	0,20 a	0,008 b	0,007 a	
CV (%)	17,89	28,98	66,17	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade. Dados transformados para raiz quadrada nas três camadas.

Os resultados verificados para essa variável corroboram com os valores encontrados para o número de nódulos por camada. A primeira profundidade (0 – 0,10 m) apresentou maior número de nódulos e, consequentemente, massa seca de nódulos superior às demais camadas. Também foi observado que não houve diferença significativa para a condição de solo nessa camada (Tabela 28), pois o desenvolvimento radicular não foi prejudicado e nem o suprimento de oxigênio ficou comprometido, resultando em massas secas de nódulos iguais tanto para o solo não compactado quanto para o com compactação.

Os tratamentos inoculados e coinoculados apresentaram desempenho similar à testemunha com nitrogênio e ao inoculante comercial para a cultura do amendoim. Isso indica que o nitrogênio foi fornecido de forma eficiente via fixação biológica. Para Peixoto et al. (2010) as variáveis número e massa seca de nódulos servem para mensurar indiretamente o processo de FBN e avaliar a simbiose rizóbio-

leguminosa.

Para a camada 2 (0,10 – 0,20 m) não houve influência dos tratamentos (Tabela 27) e, sim da condição do solo (Tabela 28). O solo sem compactação obteve maior número de nódulos e, desta forma, massa seca superior ao compactado. Com o desequilíbrio da porosidade total e da aeração do solo, causada pelo processo de compactação, há menor desenvolvimento das raízes, o que diminui a área de atuação dos micro-organismos da rizosfera (VOMOCIL; FLOCKER, 1961; NUIERNBERG, 1983; COSTA 1998). Ademais, em ambiente com deficiência de oxigênio, ocorre a formação de um ambiente redutor que é maléfico ao desenvolvimento dos aeróbios, à infecção das raízes, nodulação e FBN, propriamente dita (VOMOCIL; FLOCKER, 1961; NUIERNBERG, 1983).

Em relação à camada 3 (0,20 – 0,30 m) houve nodulação, porém não houve efeito significativo (Tabelas 27 e 28). Verificou-se um menor número de nódulos quando comparado às demais profundidades, resultando numa massa seca inferior. Rowland et al. (2015) observaram a presença de nódulos em plantas de amendoim variando de 5 a 30 cm de profundidade, o que indica que a planta de amendoim pode nodular em diferentes profundidades.

4.16. Massa seca de nódulos total

Os valores foram significativos em relação aos tratamentos para a massa seca de nódulos total a 1% de probabilidade (Tabela 29).

Tabela 29 – Massa seca de nódulos total em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Massa seca de nódulos total (g vaso ⁻¹)*
MT 15	0,272 a
Inoculante Comercial	0,257 a
MT 15 + A. brasilense	0,255 a
Testemunha Nitrogenada	0,242 ab
Testemunha Absoluta	0,143 b
CV (%)	17,89

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Os tratamentos com inoculação (MT 15) e coinoculados apresentaram o mesmo desempenho da testemunha contendo nitrogênio mineral e do inoculante comercial, demonstrando que os fixadores de nitrogênio foram capazes de fornecer esse macronutriente de forma eficiente ao amendoinzeiro.

Resultados diferentes foram encontrados por Muniz et al. (2016) que ao trabalharem com amendoim forrageiro cultivar Amarillo obtiveram massa seca de nódulos maior no tratamento sem nitrogênio quando comparado aos inoculados e ao tratamento nitrogenado. Eles obtiveram esse resultado devido ao efeito da população nativa de rizóbios, não corroborando com os dados desse estudo, pois a menor massa seca de nódulos foi encontrada na testemunha absoluta.

Santos et al. (2014) não observaram diferença significativa entre os tratamentos não inoculados e o maior valor de massa seca de nódulos (0,158 g planta⁻¹) foi obtida com o isolado R5 em amendoim cultivar IAC Tatu.

Entretanto, Santos et al. (2017 a) e Silva et al. (2017) conseguiram o maior valor de massa seca de nódulos por planta na coinoculação (*B. japonicum + A. brasilense*) em amendoim cultivar IAC Tatu ST.

E Santos et al. (2017 b) obtiveram os melhores resultados de massa seca de nódulos por planta de amendoim com os isolados de rizóbios ESA 85 (105 mg planta⁻¹) e ESA 86 (144 mg planta⁻¹).

O número e a massa seca de nódulos servem para mensurar a simbiose entre o rizóbio e a leguminosa, fazendo parte do protocolo para avaliar a eficiência agronômica de estirpes no Brasil pela RELARE (Rede de Laboratórios para recomendação, padronização e difusão de tecnologia de inoculantes microbiológicos de interesse agrícola (XAVIER et al., 2006).

4.17. Número de vagens

Em relação ao número de vagens houve significância para os dados a 1% de probabilidade para os tratamentos e a 5% de probabilidade para a condição do solo (Tabelas 30 e 31).

Tabela 30 – Número de vagens em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Número de vagens ^{**}
MT 15	21,63 a
Inoculante Comercial	20,75 a
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	23,25 a
Testemunha Nitrogenada	23,50 a
Testemunha Absoluta	10,13 b
CV (%)	14,41

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade. Dados transformados para raiz quadrada.

Tabela 31 – Número de vagens em plantas de amendoim em função da condição de

solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Número de vagens [*]
Não Compactado	22,25 a
Compactado	17,45 b
CV (%)	14,41

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5 () de probabilidade. Dados transformados para raiz guadrada.

Os tratamentos inoculados, coinoculados e não inoculados apresentaram resultados similares, com exceção da testemunha absoluta. Essa boa performance indica que o processo de FBN foi eficaz para o incremento de nitrogênio necessário ao desenvolvimento dos tecidos vegetais do amendoim.

O nitrogênio tem alta mobilidade na planta e desloca-se das partes mais velhas para as mais jovens (MARENCO; LOPES, 2009). Quando a cultura atinge o seu final de ciclo, esse macronutriente é deslocado para a produção das vagens e, posterior, concentração nas sementes (HAAG; MALAVOLTA, 1967).

Os resultados desse estudo corroboram com Sizenando et al. (2016) que encontraram valores superiores para o número de vagens por planta de amendoim no genótipo L7 Bege com o rizóbio isolado ESA 123 (26,72) e o inoculante comercial SEMIA 6144 (25,96).

Para a condição do solo, o não compactado apresentou maior número de vagens quando comparado ao compactado. Isso pôde ser observado uma vez que a compactação gera problemas de aeração e drenagem, dificultando a penetração dos

ginóforos e o desenvolvimento dos frutos (FERRARI NETO et al., 2012).

4.18. Número de grãos

Houve efeito significativo a 1% de probabilidade para o número de grãos tanto para os tratamentos quanto para o condicionamento do solo (Tabelas 32 e 33). Não ocorreu interação entre os fatores.

Tabela 32 – Número de grãos em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Número de grãos ^{**}
MT 15	39,38 a
Inoculante Comercial	37,63 a
MT 15 + <i>A. brasilense</i>	42,50 a
Testemunha Nitrogenada	43,00 a
Testemunha Absoluta	19,00 b
CV (%)	29,70

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Tabela 33 – Número de grãos em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Número de grãos [*]
Não Compactado	40,90 a
Compactado	31,70 b
CV (%)	29,70

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Para os tratamentos, novamente, foi verificado que as plantas que receberam inoculação com a MT 15 e coinoculação obtiveram desempenho similar à testemunha nitrogenada e ao inoculante comercial do amendoim (SEMIA 6144). Dessa forma, supõe-se que o processo de FBN conseguiu atender a demanda desse macronutriente, proporcionando ao amendoinzeiro condições adequadas para se desenvolver e produzir.

Caballero (2015) afirma que a FBN é extremamente importante para o desenvolvimento das leguminosas e que dependendo da espécie e sistema de cultivo, supre totalmente a adubação mineral nitrogenada.

Além disso, segundo Crusciol & Soratto (2007) em áreas de primeiro cultivo com leguminosas, o uso da inoculação é importante para aumentar o rendimento de grãos da cultura. Essa afirmação corrobora com o observado nesse estudo, pois a testemunha absoluta apresentou o menor número de grãos o que evidencia que os rizóbios nativos do solo não foram eficazes em fornecer nitrogênio às plantas de amendoim.

Com relação ao condicionamento do solo, o compactado expressou menor número de grãos que o sem compactação, visto que o solo não compactado também apresentou o maior número de vagens. A explicação para esse resultado é que a compactação acarreta malefícios relacionados à má aeração e drenagem e dificulta que os ginóforos penetrem no solo e consigam desenvolver as suas vagens e grãos (FERRARI NETO et al., 2012).

O desenvolvimento do amendoim ocorre de forma mais satisfatória em solos de textura média, bem drenados, soltos e com boa aeração para não comprometer a produção dos seus grãos, que é a parte do amendoim que gera lucro ao produtor (LIMA, 2011; NETO et al., 2012; SIZENANDO, 2015).

4.19. Massa seca dos grãos

Em relação à variável massa seca dos grãos, os dados foram significativos a 1% de probabilidade para os tratamentos (Tabela 34).

Tabela 34 – Massa seca dos grãos em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Massa seca dos grãos (g vaso ⁻¹)**
MT 15	17,75 a
Inoculante Comercial	13,93 a
MT 15 + A. brasilense	16,79 a
Testemunha Nitrogenada	19,04 a
Testemunha Absoluta	5,63 b
CV (%)	29,01

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1 () de probabilidade.

Tabela 35 – Massa seca dos grãos em plantas de amendoim em função da condição

de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Massa seca dos grãos (g vaso ⁻¹) ^{ns}
Não Compactado	14,74 a
Compactado	14,52 a
CV (%)	29,01

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey. ns: não significativo.

Todos os tratamentos apresentaram bons resultados, com exceção da testemunha absoluta. A inoculação (MT 15) e a coinoculação (MT 15 + *A. brasilense*) conseguiram valores equivalentes à testemunha nitrogenada e ao inoculante comercial. Esse desempenho aponta que o processo de FBN disponibilizou nitrogênio suficiente para a planta manter todos os seus processos fisiológicos, o que refletiu positivamente na massa seca dos grãos.

De acordo com Hungria et al. (2013) mesmo o amendoim sendo capaz de nodular com diversas estirpes nativas do solo, a prática da inoculação com bactérias selecionadas pode assegurar uma maior produtividade em virtude do aporte de nitrogênio. Isso ficou evidente, pois a testemunha absoluta apresentou o pior resultado para a massa seca de grãos, enquanto o tratamento com a estirpe MT 15 mostrou resultado semelhante ao que recebeu nitrogênio mineral.

Assim, a FBN é uma alternativa viável para a substituição parcial ou total de fertilizantes nitrogenados. Com isso, além de reduzir os custos da produção, ainda evita sérios danos ambientais, como a eutrofização de cursos d'água, a acidificação

do solo e a contaminação de recursos hídricos e lençóis subterrâneos, (SMIL, 1997; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; HUNGRIA et al., 2001; GUIMARÃES, 2006).

Entretanto, com relação à coinoculação, não foi observado um aumento significativo na massa seca de grãos quando comparado somente à prática da inoculação. Essa resposta difere dos estudos realizados pela Embrapa que indicam um rendimento em grãos de 16,1% para a soja e de 19,6% para o feijão com a tecnologia de coinoculação com *Azospirillum* contra 8,4 % para a soja e 8,3% para o feijão usando apenas a inoculação com rizóbio (HUNGRIA et al., 2013).

Além disso, com os dados da Tabela 35, foi verificado que não houve efeito significativo para a massa seca de grãos entre o solo compactado e não compactado. Isso infere que com o estresse causado pela compactação, a planta de amendoim produziu quantidade de vagens e grãos inferior, porém com maior peso por grão, compensando a diferença e igualando a massa seca dos grãos entre as duas condições de solo.

4.20. Concentração de nitrogênio e proteína bruta na parte aérea

Para a concentração de nitrogênio e proteína bruta da parte aérea foi observado efeito significativo apenas para o condicionamento do solo (Tabela 36).

Tabela 36 – Concentração de nitrogênio e proteína bruta na parte aérea em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Concentração de nitrogênio e proteína bruta (g kg ⁻¹)**	
Condição do Solo	Conc. de nitrogênio	Proteína bruta
Não Compactado	18,03 a	112,69 a
Compactado	16,87 b	105,41 b
CV (%)	4	-,32

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

As plantas desenvolvidas em solo não compactado apresentaram maior concentração de nitrogênio e proteína bruta na parte aérea quando comparadas às desenvolvidas em solo com compactação. Isso ocorreu porque com o aumento da densidade do solo na camada compactada, houve decréscimos na difusão de

oxigênio e a oxidação rápida do amônio a nitrato (SCHLOERRING et al., 2002; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) foi prejudicada. O acúmulo de íons amônio pode causar efeitos tóxicos às plantas como desequilíbrios iônicos e hormonais e variações no pH celular (BRITTO; KRONZUCKER, 2002). Além disso, no processo de FBN, o amônio em excesso pode inibir a atividade e a síntese da nitrogenase (RUDNICK et al., 1997).

Pode-se ressaltar, também, que a compactação diminui o fluxo de água e o transporte de nutrientes, como o nitrogênio que se movimenta no solo via fluxo de massa (MALAVOLTA, 1980; CLARK et al., 2003; REICHERT et al., 2003; MEDEIROS et al., 2005; ROCHA et al., 2008; CABRAL et al., 2012). Na planta, o nitrogênio também tem alta mobilidade e se descola das partes mais velhas para as mais jovens (MARENCO; LOPES, 2009). Em adição, por compor a molécula de clorofila, tem grande influência na fotossíntese e no crescimento das plantas (SILVEIRA; DAMASCENO 1993; TAIZ; ZEIGER, 2013), aumentando a concentração de nitrogênio e proteína bruta na parte aérea em solos não compactados.

4.21. Concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos

Nos grãos, houve efeito significativo para a concentração de nitrogênio e proteína bruta para a condição do solo (Tabela 37).

Tabela 37 – Concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Concentração de nitrogênio e proteína bruta (g kg ⁻¹) ^{**}	
Condição do Solo	Conc. de nitrogênio	Proteína bruta ^{**}
Não Compactado	44,89 b	280,54 b
Compactado	46,72 a	291,99 a
CV (%)	2,87	2,86

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

As plantas cultivadas em solo compactado apresentaram maior concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos do que as do solo sem compactação. Esse

resultado pode ter ocorrido devido ao estresse causado pelo aumento da densidade do solo à planta de amendoim. Isso refletiu num menor número de vagens e grãos na condição compactada, mas não influenciou a massa seca dos grãos que foi igual à produzida na ausência de compactação (Tabela 35). Portanto, no solo compactado houve a produção de grãos mais pesados com concentração de nitrogênio e proteína bruta superior aos produzidos em ambiente sem compactação.

Outra observação para explicar esses valores mais altos para a condição compactada seria o maior acúmulo de nitrato na camada superior devido a menor perda por lixiviação com o aumento da compactação (MANDAL et al., 1990). Em seu experimento, Mandal et al. (1990) estudaram o efeito de diferentes níveis de compactação (1,52; 1,79 e 1,85 Mg m⁻³) na lixiviação de nitrato aplicado na forma de nitrato de potássio. Após irrigações sucessivas eles observaram que o nitrato foi encontrado em alta concentração em baixas profundidades e que as perdas foram extremamente menores com o aumento da densidade.

O nitrato (NO₃-) é facilmente lixiviado para as camadas mais profundas, pois fica livre na solução do solo devido à repulsão que sofre das partículas que apresentam, normalmente, carga elétrica líquida negativa (DUETE et al., 2009).

No anel superior, além do maior desenvolvimento radicular, também não ocorreu ausência de oxigênio e os íons amônio sofreram oxidação a nitrato. No anel seguinte onde estava localizada a camada compactada, pressupõe-se que o nitrato formado não conseguiu transpor essa barreira e lixiviar para as camadas mais profundas. Isso proporcionou às plantas melhor aproveitamento do nitrogênio, resultando em grãos de melhor qualidade nutricional.

Silva et al. (2016 b) ao trabalharem com feijão caupi, não observaram efeito significativo para a concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos entre os tratamentos contendo as estirpes MT 15 + M 16, inoculante comercial BR 3267 e o adubado com nitrogênio mineral, em solo compactado e não compactado.

4.22. Acúmulo de nitrogênio na parte aérea e nos grãos

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea foi significativo para os tratamentos a 1% de probabilidade (Tabela 38) e para a condição do solo (Tabela 39) a 5% de probabilidade. Não houve interação entre os dois fatores. Para os grãos, houve

significância para os tratamentos a 1% de probabilidade (Tabela 40).

Tabela 38 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Acúmulo de nitrogênio na parte aérea (mg vaso ⁻¹) ^{**}
MT 15	445,28 a
Inoculante Comercial	370,12 ab
MT 15 + A. brasilense	435,07 a
Testemunha Nitrogenada	413,34 a
Testemunha Absoluta	240,26 b
CV (%)	28,41

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Tabela 39 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea em plantas de amendoim em função da condição de solo, com e sem compactação.

Condição do solo	Acúmulo de nitrogênio na parte aérea (mg vaso ⁻¹)*
Não Compactado	420,75 a
Compactado	340,88 b
CV (%)	28,41

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% () de probabilidade.

Tabela 40 – Acúmulo de nitrogênio nos grãos em plantas de amendoim em função da inoculação com rizóbio e coinoculação com *A. brasilense* em solo com e sem compactação.

Tratamentos	Acúmulo de nitrogênio nos grãos (mg vaso ⁻¹)**
MT 15	1100,61 a
Inoculante Comercial	873,51 a
MT 15 + A. brasilense	1042,28 a
Testemunha Nitrogenada	1179,41 a
Testemunha Absoluta	352,42 b
CV (%)	28,02

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 1% () de probabilidade.

Com relação ao acúmulo de nitrogênio na parte aérea foi constatado que todos os tratamentos apresentaram excelente desempenho, com exceção da testemunha absoluta. A prática da inoculação (MT 15) e da coinoculação permitiu alcançar valores semelhantes à testemunha nitrogenada e ao inoculante comercial. Isso infere que o nitrogênio adquirido via FBN foi satisfatório, permitindo à planta acumulá-lo em seus tecidos aéreos. Assim, a FBN é uma prática vantajosa frente aos fertilizantes nitrogenados, pois é de baixo custo e evita diversos danos ao meio ambiente.

No solo não compactado, as plantas apresentaram acúmulo de nitrogênio na parte aérea superior às do compactado. Esse valor ocorreu, pois em solos com compactação há menor movimento de água e nutrientes no solo, como o nitrogênio (MALAVOLTA, 1980; DOLAN et al., 1992; PEDROTTI et al., 1994; CABRAL et al., 2012). Além disso, devido à falta de oxigênio, os íons amônio não se oxidam a nitrato, gerando um acúmulo que causa malefícios tanto às plantas quanto aos micro-organismos (RUDNICK et al., 1997; BRITTO; KRONZUCKER, 2002; SCHLOERRING et al., 2002; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esses estresses causados pela compactação refletiram no menor acúmulo de nitrogênio da parte aérea em plantas de amendoim em ambiente compactado.

Para os grãos, o resultado observado indica o sucesso da inoculação com a estirpe MT 15 e da coinoculação com MT 15 + *A. brasilense*. Essas bactérias foram capazes de propiciar às plantas de amendoim o acúmulo de nitrogênio nos grãos igual aos tratamentos contendo o nitrogênio mineral e ao inoculante comercial.

Zilli et al. (2008) e Zilli et al. (2010) obtiveram o maior acúmulo de nitrogênio nos grãos para a cultura da soja nos tratamentos contendo inoculantes comerciais e adubação nitrogenada em relação ao tratamento controle.

Já Silva et al. (2016 b) verificaram diferença significativa para o acúmulo de nitrogênio nos grãos de feijão caupi onde para o solo compactado a combinação MT15 + MT16 proporcionou o maior valor. Todavia, no solo sem compactação não encontraram diferença significativa entre a combinação de estirpes (MT15 + MT16), o inoculante comercial BR 3267 e o tratamento com adição de nitrogênio mineral.

5. CONCLUSÕES

A inoculação com a estirpe MT 15 e a coinoculação com MT 15 + *A. brasilense* proporcionaram ao amendoim bom desempenho em relação às características fitométricas, produtivas e relacionadas à eficiência da fixação biológica de nitrogênio em solo compactado e não compactado.

As técnicas de inoculação e coinoculação promoveram resultados semelhantes ao tratamento com nitrogênio mineral e ao com inoculante comercial para a cultura do amendoim, sendo, portanto, alternativas viáveis ao produtor frente ao elevado custo dos fertilizantes nitrogenados.

A estirpe MT15 se mostrou eficiente tanto em solo compactado como em solo com ausência de compactação para o amendoim, demonstrando potencial para o uso como inoculante para a cultura.

A condição do solo, compactado e não compactado, influenciou diversas variáveis do amendoinzeiro, como a concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC OBSERVATÓRIO – AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO. **Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um novo paradigma.** Disponível em < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117611/1/sumario-estudo-1.pdf> Acesso fev./ 2017.

ABNT. **NBR 7182 – Ensaio de Compactação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1986.

AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas. Boletim IAC, nº 200, 7 ª ed., Campinas: Instituto Agronômico, 2014.

ALMEIDA, A. L. G. de. Diagnóstico da fertilidade dos solos cultivados com feijão-caupi e eficiência agronômica de estirpes de rizóbio para o Estado do Piauí. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado) — Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, 2008.

ALMEIDA, Milly Siqueira Cardinal de. **Amendoim inoculado com estirpes de rizóbio em Latossolo do Cerrado Matogrossense.** 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2017.

ALVARENGA, C. R.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, 1996.

AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 467-473, 2005.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, Cap.I. p.1-18, 1986.

ANICÉSIO, E. C. A. Compactação do solo: características produtivas e estruturais de cultivares de trigo em Latossolo de Cerrado. 2012. 52 f. Monografia – Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2012.

ANSORENA MINER, J. **Sustratos: Propiedades y caracterizacion**. Mundi-Prensa, Madrid, 172 p, 1994.

ARAÚJO, F. F.; HUNGRIA, M. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum*/ *Bradyrhizobium elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1633-1643, 1999.

- ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA, p. 9-90, 1994.
- ARDAKANI, M.; MAFAKHERI, S. Designing a sustainable agroecosystem for wheat (*Triticum aestivum* L.) production. **Journal of Applied Environmental and Biological Sciences**, 1:401–413, 2011.
- ASGHAR, H. N.; ZAHIR, Z. A.; ARSHAD, M.; KHALIQ, A. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.231-237, 2002.
- BALDANI, J. I. Ocorrência e caracterização de Azospirillum amazonense em comparação com outras espécies deste gênero, em raízes de milho, sorgo e arroz. 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1984.
- BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 5/6, p. 911-922, 1997.
- BARASSI, C. A.; SUELDO, R. J.; CREUS, C. M.; CARROZZI, L. E.; CASANOVAS, W. M.; PEREYRA, M. A. Potencialidad de *Azospirillum* en optimizer el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiologia**, p. 49-59, 2008.
- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach**. 2.ed. New York, Wiley-Interscience, 384 p., 1995.
- BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; VARGAS MOTTA, A. C. Fixação biológica de nitrogênio em *Poaceae*. **Evidência**, Joaçaba, v. 12, n. 1, p. 7-18, janeiro/junho 2012.
- BASHAN Y.; de-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. **Advances in Agronomy**,108:77–136, 2010.
- BASHAN Y.; HOLGUIN, G. Azospirillum—plant relationships: environmental and physiological advances, **Canadian Journal of Microbiology**, 43:103–121, 1997.
- BASHAN, Y. Inoculants of plant growth-promoting bactéria for use in agriculture. **Biotechnology Advances**, v.16, n.4, p. 729-770, 1998.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Plant growth-promoting. In: HILLEL, D. **Encyclopedia** of soil in the environment. 2. ed.Oxford: Elsevier, p. 103-115, 2005.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; de-BASHAN, L. E. Azospirillum-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

- BASSO, S. M. S. Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. e *Lótus* L. 1999. 268 p. Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. **Anais do III Encontro Nacional Sobre Substrato Para Plantas**, Campinas, Brasil, p.7-15, 2002.
- BAZZICALUPO, M.; OKON, Y. Associative and endophytic symbiosis. In: PEDROSA, F. et al. (Ed.). **Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000.
- BENGOUGH, A. G.; CROSER, C.; PRITCHARD, J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant Soil**, 189:155-164, 1997.
- BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 59–68, 2011.
- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 681-691, 2010.
- BERGERSEN, F. J.; TURNER, G. L.; , GAULT, R. R.; PEOPLES, M. B.; MORTHORPE, L. J.;BROCKWELL, J. Contributions of nitrogen in soybean crop residues to subsequent crops and to soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 43. p. 155-169. 1992.
- BEUTLER A. N.; CENTURION, J. F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scentia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 626-631, 2004.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:167-177, 2001.
- BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. 2ª ed., 344p. Porto Alegre, 2008.
- BLACKMER, T. M., SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.9/10, p.1791-1800, 1995.
- BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, T. J. A.; FILHO, O. G.; GUEDES, R. B. M.; OLIVEIRA, J. R. Wheat cultivars under bulk desnity levels in Cerrado Rhodic Hapludox, Central Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 1641-1643, 2014.

- BONFIM-SILVA, E. M.; PALUDO, J. T. S.; SILVA, T. J. A; GUIMARÃES, S. L. Bulk density in jack bean's development grown in Cerrado Oxisol. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 1349-1360, 2015.
- BONFIM-SILVA, E. M.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; REIS, R. H. P.; CAMPOS, J. J.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Establishment of Xaraés and Marandu grasses under levels of soil compactation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 727-735, jul/ago., 2012.
- BORGES, E. V. S.; LOMBARDI NETO, F.; LOMBARDI, M. L. C. O.; BORGES, E. N. Crescimento aéreo e radicular da soja em solos compactados e inoculados com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:1-9, 2000.
- BORGES, W. L.; SILVA, C. E. de R.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio de acessos de amendoim com estirpes nativas de rizóbios. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 2, núm. 1, UFRPE, 2007.
- BORGES, Wardsson Lustrino. **Análise da variabilidade genética e avalização da fixação biológica de nitrogênio entre acessos de amendoim (***Arachis hypogaea* **L.).** 2006. 48 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, 2006.
- BOTTA, G. F.; RIVERO, D.; TOURN, M.; MELCON, F. B.; POZZOLO, O.; NARDON, G.; BALBUENA, R.; BECERRA, A. T.; ROSATTO, H.; STADLER, S. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 101, n. 1, p. 44-51, 2008.
- BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. Identification of gibberelins A1, A3, and iso-A3 in cultures of *A. lipoferum*. **Plant Physiology**, Amsterdam, v. 90, p. 45-47, 1989.
- BOUHMOUCH, I.; SOUAD-MOUHSINE, B.; BRHADA, F.; AURAG, J. Influence of host cultivars and Rhizobium species on the growth and symbiotic performance of *Phaseolus vulgaris* under salt stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, p. 1103-1113, 2005.
- BRACCINI, A. L.; MARIUCCI, G. E. G.; SUZUKAWA, A. K.; LIMA, L. H. S.; PICCININ, G. G. Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scentia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 1, jan./mar., p. 27-35, 2016.
- BRATTI, A. E.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; MARTINS, C. M.; ZILI, J. E.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; NEVES, M. C. P. Levantamento de Rizóbios em adubos verdes cultivados em Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA). Documentos 204, Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, 2000.

- BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. NH4⁺ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, v.159: p.567–584, 2002.
- BRUNETTO, Gustavo. **Nitrogênio em videira: recuperação, acumulação e alterações na produtividade e na composição da uva**. 2008. 163 f. Doutorado (Tese) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
- BULGARELLI, Elisangela Maria Bernal. Caracterização de variedades de amendoim cultivadas em diferentes populações. 2008. 47 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.
- BURDMAN, S.; VOLPIN, H.; KIGEL, J.; KAPULNIK, Y.; OKON, Y. Promotion of nod Gene Inducers and Nodulation in Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Roots inoculated with *Azospirillum brasilense* Cd. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 62, n. 8-18, p. 3030-3033, 1996.
- CABALLERO, S. U. **Fixação biológica de nitrogênio**. Agência Embrapa e informação tecnológica. AGEITEC. 2015.
- CABRAL, C. E. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; BONELLI, E. A.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. H. A.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Compactação do solo e macronutrientes primários na *Brachiaria brizantha* cv. Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 362-367, 2012.
- CAIRES, E. F.; ROSOLOEM, C. A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. **Bragantia**, v. 57, n. 1, Campinas, 1998.
- CANNEL, R. Q. Soil aeration and compaction. **Applied Biology**, v. 2, p. 1-86, 1977.
- CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6ª edição. LTC: 1995.
- 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, 2006.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.
- CARVALHO, E. A. Avaliação agronômica da disponibilização de nitrogênio à cultura de feijão sob sistema de semeadura direta. 2002. 80 f. Doutorado (Tese) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2002.

- CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente? **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.
- CASSÁN, F.; SGROY, V.; PERRIG, D.; MASCIARELLI, O.; LUNA, V. Producción de fitohormonas por *Azospirillum* sp. Aspectos fisiológicos y tecnológicos de la promoción del crecimiento vegetal. In: CASSÁN, F. D.; SALAMONE, I. G. (Ed.) *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: **Asociación Argentina de Microbiologia**, p. 61-86, 2008.
- CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio, microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C.; PAULA Jr., T. J.; BORÉM, A. L. (Ed.). **Feijão.** 2 ed. Viçosa, MG: EFV, p. 143-170, 2006.
- CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M.; ANDRADE, C. A. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférrico sob diferentes sistemas de preparo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1047-1057, 2009.
- CHAGAS JÚNIOR, A. F. Características agronômicas e ecológicas de rizóbio isolados de solos ácidos e de baixa fertilidade da Amazônia. 2007. 172 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.
- 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.
- CHANG, C.Y.; TANONG, K.; XU, J.; SHON, H. Microbial community analysis of an aerobic nitrifying-denitrifying MBR treating ABS resin wastewater. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 9, p. 5337-5344, 2011.
- CHAPIN, F. S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, p. 233-260, 1980.
- CHEN, W. M.; LAEVENS, S.; LEE, T. M.; COENYE, T.; DE VOS, P.; MERGEAY, M.; VANDAMME, P. *Ralstonia taiwanensis* sp. nov., isolated from root nodules of *Mimosa* species and sputum of a cystic fibrosis patient. **International Journal of Systematic and Evolutionary Bacteriology**, v. 51, p. 1729-1735, 2001.
- CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Scienses**, 6, 1641-1649, 2015.
- CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 197-201, 1983.
- CLARK, L. J.; WHALLEY, W. R.; BARRACLOUGH, P. B. How do roots penetrate strong soil? **Plant Soil**, 255:93-104, 2003.

COHEN, A. C.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. *Azospirillum brasilense* sp. 245 produces ABA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in Arabidopsis plants. **Plant Growth Regulation**, 54:97–103, 2008.

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**, v. 32, p. 933-942, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira Grãos,** v. 4, safra 2016/2017, n. 5, quinto levantamento, Brasília, 166 p., fevereiro, 2017 a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira Grãos,** v. 4, safra 2016/2017, n. 6, sexto levantamento, Brasília, 176 p., março, 2017 b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira Grãos,** v. 5, safra 2017/2018, n. 1, primeiro levantamento, Brasília, 118 p., outubro, 2017 c.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira Grãos,** v. 5, safra 2017/2018, n. 10, décimo levantamento, Brasília, 178 p., julho, 2018.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. São Paulo: SINDIRAÇÕES/ANFAR, Campinas: CBNA/SDR/MA, p. 207-216, 2017.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiologia**, p. 87-95, 2008.

COSTA, F. de M. Caracterização morfofisiológica e genética de bactérias isoladas de nódulos de guandu [Cajanus cajan (L.) Millsp.], cultivado na borda oeste do Pantanal Sul – Mato-grossense. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Agronomia, Unidade Universitária de Aquidauana, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2011.

COSTA, J. A. Cultura da soja. Porto Alegre, 233 p., 1996.

COSTA, J. P. V. da. Fluxo de difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos. Viçosa: UFV, 67 p., 1998.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University, 1981.

- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 42, n. 6, p. 1-8, 2007.
- CUNHA, J. B. de A.; NUNES, I. A.; GAVA, C. A. T.; SANTOS, R.C.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES JUNIOR, P. I.; Diversidade cultural de bactérias isoladas de nódulos de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) cultivados em solos do Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Florianópolis SC. **Anais**: ISBN 978-85-85014-71-1. SBCS, 2013.
- CUNHA, J. P. A. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 371-375, 2009.
- DAMINELI, A.; DAMINELI, D. S. C. Origens da vida. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, São Paulo, jan./abr. 2007.
- DIAS, Ritieli Deisi. **Produção de amendoim inoculado com rizóbio e cultivado em Latossolo de Cerrado.** 2013. 47 f. Monografia Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.
- DIDONET, A. D.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado: uso do clorofilômetro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 9, p. 103-111, 2005.
- DILWORTH, M.; GLENN, A. How does a legume nodule work? **Trends in Biochemical Scienses**, 9, 519-523, 1984.
- DOBBELAERE, S.; CROONENBORGHS, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; VANDERLEYDEN, J.; DUTTO, P.; LABANDERA-GONZALEZ, C.; CABALLERO-MELLADO, J.; AGUIRRE, J. F.; KAPULNIK, Y.; BRENER, S.; BURDMAN, S.; KADOURI D.; SARIG, S.; OKON, Y. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. **Australian Journal Plant Physiology**, 28:871–879, 2001.
- DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Amsterdam, v. 22, n. 2, p. 107-149, 2003.
- DÖBEREINER, J.; ALVAHYDO, R. Influência da umidade de solos na população do gênero *Beijerinckia derx*. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.11, n. 4, p. 208-218, 1959.
- DÖBEREINER, J.; BALDANI, I. J. Bases científicas para uma agricultura biológica. **Ciência e Cultura**, v.34, p.869-881, 1982.
- DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; REIS, V. M. Endophytic occurrence of diazotrophic bacteria in non-leguminous crops. In: *Azospirillum* VI and related microorganisms, FENDRIK, I.; DEL GALLO, M.; VANDERLEYDEN, J.; ZAMAROCZY, M. (eds), Berlin, Springer-Verlarg, p. 3-14, 1995.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associative symbiosis in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. In: NEWTON W.E.; NYMAN, C.T. (Ed.) INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION, vol. 2. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Pullman, USA: Washington State University Press, p.518-538, 1976.

DÖBEREINER, J.; MARRIEL, I.; NERY, M. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. **Canadian Journal of Microbiology**, v.22, p.1464–1473, 1976.

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.

DROZDOWICZ, A. Bactérias do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Ed.: **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, P. 17-60, 1997.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de nitrogênio (15N) pelos grãos de milho em função da fonte de nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 463-472, 2009.

DUVAL, S.; DANYAL, K.; SHAW, S.; LYTLE, A. K.; DEAN, D. R.; HOFFMAN, E. A.; SEEFELDT, L. C. Electron transfer precedes ATP hydrolysis during nitrogenase catalysis. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, 110(41): 16414-16419, 2013.

ELMERICH. C.; NEWTON, W. E. Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations. Dordrecht: Springer, 321 p., 2007.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 3ª ed. Brasília, DF, 575 p., 2017 b.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 353 p, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Johanna Döbereiner: a cientista que revolucionou a agricultura**. Disponível em < https://www.embrapa.br/johanna-dobereiner/quem-foi> Acesso em fev/2017 a.

FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; NETO, D. D.; VAN LIER, Q. J.; SANTOS, O. S.; MULLER, L. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja – revisão. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo do nitrogênio. Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado.** Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, p. 51-94, 2003.

- 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.
- FAGUNDES, Maria Helena. **Sementes de amendoim: alguns comentários**. 2002. Disponível em < http://www.conab.gov.br/ conabweb/download/cas/especiais/semente_de_amendoim_internet.pdf> Acesso out/2017.
- FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; PIETRO-SOUZA, W.; VILARINHO. M. K. C.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 497-503, 2013.
- FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; GUIMARÃES, S. L.; SOUZA, A. C. P.; SILVA, T. J. A.; SCHLICHTING, A. F. Concentration of nutrients and chlorophyll index in pigeon pea fertilized with rock phosphate and liming in Cerrado Oxisol. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 1743-1750, 2015.
- FÁVERO, A. R.; SIMPSON, C. E; VALLS, J. F. M.; VELLO, N. A. Study of the evolution of cultivated peanut through crossability studies among *Arachis ipaensis*, *A. duraanensis* and *A. hipogaea*. **Crop Science**, v. 46, n. 11, p. 1546-1555, 2006.
- FERRARI NETO, J.; COSTA, C. H. M.; CASTRO, G. S. A. Ecofisiologia do amendoim. **Scentia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 1-13, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia** [online]. vol. 38, n.2, 2014.
- FERREIRA, Jorge Luís Sousa. Cobertura vegetal, teor de óleo e produtividade de linhagens interespecíficas de amendoim no Sudoeste de Goiás. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jataí, 2015.
- FERREIRA, P. P.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; PACHECO, A. B.; SOUSA, H. H. F.; DUARTE, T. F. Density of soil and nitrogen in production and nutrition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Australian Journal of Crop Science**, 11 (05), p. 605-609, 2017.
- FLORES, H. E.; VIVANCO, J. M.; LOYOLA-VARGAS, V. M. "Radicle" biochemistry: the biology of root-specific metabolism. **Trends in Plant Science**, 4:220-226, 1999.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Soil is a non-renewable resource.** 2015. Disponível em http://www.fao.org/3/a-i4373e.pdf > Acesso em abr/2017.
- FORDE, B. G. Nitrate transportes in plants: structure, function and regulation. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1465, p. 219-235, 2000.

- FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. **Fixação biológica de nitrogênio**. Brasília: ABEAS, Curso de Agricultura Tropical, módulo 2.3, Embrapa Soja, 54 p., 1988.
- FRAZÃO, J. J.; SILVA, A. R.; SILVA, V. L.; OLIVEIRA, V. A.; CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1262-1267, 2014.
- FRED, E. B.; WALKSMAN, S. A. Laboratory Manual of General Microbiology with Special Reference to the Microorganisms of the Soil. New York: Mc-Graw-Hill BookCompany, 1928.
- FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 627-636, 2007.
- FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília DF. Embrapa Informação Tecnológica, 519 p., 2005.
- FREITAS, F.O.; PENÃLOZA, A. P.; VALLS, J. F. M. O amendoim contador de história. Brasília: Embrapa, p.12, 2003.
- FREITAS, P. L. de. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J. N. Fascículos sobre experiências em plantio direto nos Cerrados. Uberlândia: APDC, cap. 9, p. 187-196, 1994.
- FRITZSONS, Elenice. Avaliação do impacto da contaminação por nitrogênio da Bacia Hidrográfica Cárstica de Fervida/Ribeirão das Onças Colombro/PR. 1999. 186 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1999.
- FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, 8:73, 2018.
- GALVANI, F.; GAERTNER, E. Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta. Documentos Embrapa, n. 63, Corumbá, p. 1-9, 2006.
- GARRITY, G. M.; HOLT, J. G. The road map to the Manual. In **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology**, 2 ed., vol. 1, p.119–166. Edited by D. R. BOONE, R. W. CASTENHOLZ; G. M. GARRITY. New York: Springer, 2001.
- GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 477-484, 2004.
- GILABEL, Amanda Prado. **Co-inoculação de Rhizobium e Azospirillum e adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro comum**. 2018. 85 f. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2018.

- GODOY, Eloene Rodrigues. Indicadores de produtividade de genótipos de amendoim rasteiro cultivados em sistema de transição agroecológica. 2016. 42 f. Dissertação (Mestrado) Univesidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jataí, 2016.
- GODOY, I. J.; MINOTTI, D.; RESENDE, P. L. **Produção de amendoim de qualidade.** Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 168 p., 2005.
- GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, p. 18-186, 1968.
- GREGORY, W. C.; SMITH, B. W.; YARBROUEH, J. P. Morphology, genetics and breeding. In: SYMPOSIUM THE PEANUT, THE UNPREDICTABLE LEGUME, Washington. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA,** Washington, National Fertilizers Association, p. 28-88, 1951.
- GUALTER, R. M. R. Efeito da inoculação com diferentes estirpes de rizóbio na nodulação, fixação biológica de nitrogênio e na produtividade em feijão-caupi. 2010. 73 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, 2010.
- GUALTER, R. M. R.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; ALCANTARA, R. M. C. M.; COSTA, D. B. Inoculação e adubação mineral em feijão-caupi: efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. **Scentia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 4, p. 469-474, 2008.
- GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R.; ROCHA, A. C. Nodulação e crescimento vegetativo de feijão azuki (*Vigna angularis*) submetido à inoculação e adubação nitrogenada. **Global Science and Technology**, v. 4, n.3, p. 75-82, set./dez. 2011.
- GUIMARÃES, Salomão Lima. Aplicação de inoculante turfoso com bactérias diazotróficas e molibdênio em cultivares de arroz adubadas com nitrogênio mineral. 2006. 74 f. Tese (Doutorado em Ciências) Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
- GUIMARÃES, S. L.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I.; JACOB-NETO, J. Adição de molibdênio ao inoculante turfoso com bactérias diazotróficas usado em duas cultivares de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 393-398, mar. 2007.
- GUIMARÃES, S. L.; NEVES, L. C. R.; BONFIM-SILVA, E. M.; CAMPOS, D. T. S. Development of pigeon pea inoculated with *Rhizobium* isolated from cowpea trap host plants. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 789-795, 2016.
- GUPTA, U.C.; LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, v.34, p.73-115, 1981.

- HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro, **Bragantia**, Boletim Científico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, v. 26, n. 30, 1967.
- HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long-term experiments with different depths of mouldboard plowghing in Sweden. **Soil and Tillage Research**, v.46, p.209-223, 1998.
- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALLENTINE, C.; STEWARD, B. A. Methods for assessment of soil degradation. Boca Raton, CRS Press, **Advances in Soil Science**, p. 167-179, 1998.
- HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT. J.M., SINCLAIR, T.R., et al. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994.
- HERSELMAN, L. Genetic variation among Southern Áfrican cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes as revealed by AFLP analysis. **Euphytica**, v. 133, p. 319-327, 2003.
- HOFFMAN, B. M; DEAN, D. R.; SEEFELDT, L. C. Climbing Nitrogenase: Toward a Mechanism Enzymatic Nitrogen Fixation. **Accounts of Chemical Research**, v. 42, n. 5, p. 609-619, 2009.
- HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo. Documentos 325, Embrapa Soja, julho 2011.
- HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994.
- 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, 80 p., 2007.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura de soja**. Embrapa Soja. Circular Técnica 35. Londrina: Embrapa Soja, 48 p., 2001.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v.331, p.413-425, 2010.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; VARGAS, M. A,; ANDRADE, D. de S. Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas de grãos. **Reunião Brasileira de Biologia do Solo**, 1998.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology Fertility of Soils**, Amsterdam, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.

- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAUJO R. S. Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.), **Biologia dos Solos dos Cerrados.** Brasília: EMBRAPA Cerrado, cap. 5, p. 187-258, 1997.
- HUNGRIA, M; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N_2 fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, p. 151-164, 2000.
- INAGAKI, A. M.; GUIMARÃES, V. F.; RODRIGUES, L. F. O. S.; SILVA, M. B.; DIAMANTE, M. S.; RAMPIM, L.; MIORANZA, T. M.; DUARTE JÚNIOR, J. B. Phosphorus fertilization associated to inoculation of maize with diazotrophic bacteria. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 9, n. 48, p. 3480-3487, 2014.
- INFORZATO, R.; TELLA, R. Sistema radicular do amendoim. **Bragantia**, Campinas, 19 (2):CXIX-CXXIII, 1960.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4.ed. Brasília: Editora MS, p. 123-125, 2005.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Centro de Grãos e Fibras. Cultivares Amendoim.** Disponível em http://www.iac.sp.gov.br/ areasdepesquisa/graos/amendoim.php> Acesso em dez/2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2016**. Disponível em < https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1000#resultado> Acesso dez/2017.
- JACKSON, L. E.; BURGER, M.; CAVAGNARO, T. R. Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services. **Annual Review of Plant Biology**, 59:341-63, 2008.
- JORDAN, D. C., Family III. *Rhizobiaceae*. In: KRIEG, N. R.; HOLT, J. G. (Ed). **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology**, Williams and Wilkins, Baltimore, p. 234-242, 1984.
- JUNIOR, M. S. DIAS; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 45-51, 1999.
- KAISER, K.; GUGGENBERGER, G. Sorptive stabilization of organic matter by microporous goethite: sorption into small pores vs. surface complexation. **European Journal of Soil Science**, 58:45-59, 2006.
- KETRING, D. L.; REID, J. L. Growth of peanut roots under field conditions. **Agronomy Journal**, 85 : 80-85, 1993.
- KIEHL, J. C. **Nitrogênio: dinâmica e disponibilidade no solo**. Curso de Atualização em Fertilidade do Solo, Campinas: FundaçãoCargill, p. 139-154, 1987.

- KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, mar-abr, 2008.
- KLUGE, R. A. **Fisiologia Vegetal. Fotossíntese**. 2008. Disponível em < https://social.stoa.usp.br/articles/0016/2634/Apostila_FotossA_ntese.pdf> Acesso em maio/2018.
- KRANS, W. M.; HOHMANN, C. L.; BIANCHINI, A. Amendoim. In: Instituto Agronômico do Paraná. **Manual agropecuário para o Paraná.** Londrina: Fundação Instituto Agropecuário Paraná, p.121-128, 1980.
- KRAPOVICKAS, A.; GREGORY, W. C. Taxonomia del genero *Arachis* (*Legunimosae*). **Bonplandia**, v.8, n.1/4, p. 1-186, 1994.
- KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1459-1465, 2007.
- LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. **Advances in Agronomy**, v.42, p.85-97, 1989.
- LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: Rima, 531 p., 2000.
- LEONEL, C. L.; FREDDI, O. S.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, M. A. P. C.; CENTURION, J. F. Influência da compactação do solo no crescimento radicular e na produtividade do amendoim. **Revista Científica**, v. 35, n.1, p. 51-60, 2007 a.
- LEONEL, C. L.; CENTURION, M. A. P. C..; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. S. Relação da compactação do solo com a cultura do amendoim. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 70-81, 2007 b.
- LIMA, Tatiane Melo de. **Cultivo do amendoim submetido a diferentes níveis de adubação e condições edafoclimáticas no Sudoeste de Goiás.** 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Câmpus de Jataí, 2011.
- LOPES, Alfredo Scheid. **Manual Internacional de fertilidade do solo**. 2ª ed. Piracicaba: Potafos, 1998.
- LOPES, E. S.; TELLA, R.; ROCHA, J. L. V.; IGUE, T. Inoculação de sementes de amendoim (*Arachis Hypogea* L.). **Bragantia**, v. 31, n. 6, p. 27-34, 1972.
- LOZANO, Mariana Gonçalves. Amendoim (*Arachis hypogaea* L.): composição centesimal, ácidos graxos, fatores antinutricionais e minerais em cultivares produzidas no Estado de São Paulo. 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz". Piracicaba. 2016.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura pecuária: O estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 251 p., 1980.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres; 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319 p., 1997.

MANDAL, D. K.; KAR, S.; SHARMA, S. K. Effect of compactation on nitrogen mobility in coarse textured lateritic soil. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 38, n. 1, p. 145-147, 1990.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London, Academic Press, 889 p., 1995.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal** – 3ª edição. Viçosa, Ed. UFV, 2009.

MARTIN, P. S. **Amendoim – uma planta da história no futuro brasileiro**, Coleção Brasil Agrícola. Série Principais Produtos. Ed. Ícone, p. 68, 1985.

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 Soil**, 144, p.297-303, 1992.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água: I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 940-947, 2005.

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Ecologia microbiana.** Brasília: EMBRAPA/CNPMA, 488 p., 1998.

MELO, Shirlany Ribeiro de. **Desempenho da fixação biológica de nitrogênio de cultivares de feijão-caupi em Roraima.** 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Roraima, 2009.

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; AMABILE, R. F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em Latossolo Vermelho do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1941-1948, 2008.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 4 ed. Oxford: International Potash Institute, 687 p., 1987.

- MESSA, C. A.; AMORINS, E. P. de O.; QUINTINO, E. M.; OLIVEIRA, T. de O. P.; OLIVEIRA, J. A. G. de. Aspectos botânicos da cultura do amendoim. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 14, n. 1, 2017.
- 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 vrops. **Journal of Experimental of Botany**, v. 53, p. 979-987, 2002.
- MIFLIN, B. J.; LEA, P. J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, New York, v.15, p.873-885, 1976.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO –MAPA. **Instrução normativa DAS/MAPA 13/2011**. Disponível em < http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recupera rTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229256> Acesso mar./2018.
- MOAT, A. G.; FOSTER, J. W. **Microbial Physiology**. 3 ed. New York: Wiley Liss, p. 437-461, 1996.
- MOREIRA, F. M. de S; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.
- MOREIRA, J. C. F.; GUIMARÃES, S. L.; CANUTO, E. L.; BONFIM-SILVA, E. M. Development and yield of maize in response to inoculation of associative diazotrophic bacteria and nitrogen doses. **Australian Journal of Crop Science**, 11(09), p. 1210-1215, 2017.
- MOREIRA, M. Microrganismos simbióticos na cultura do amendoim no Estado de São Paulo. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 9, n. 1, jan-jun 2012.
- MOULIN, L., MUNIVE, A.; DREYFUS, B.; BOIVIN-MASSON, C. Nodulation of legumes by members of the β -subclass of Proteobacteria. **Nature**, 411:948-950, 2001.
- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A.; Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 531-538, 2001.
- MUNIZ, A. W.; CORREA, R. B.; SILVA, T. A. C.; PERIN, R.; TONATO, F.; ASSIS, G. M. L. Inoculação de rizóbios em amendoim forrageiro cv. Amarillo em Manaus, AM. Circular Técnica 56, Embrapa, 2016.
- MUNIZ, A. W.; DALAGNOL, G. L.; WORDELL FILHO, J. A.; SÁ, E. L. S. Promoção de crescimento de espécies de *Adesmia* por rizobactérias de nódulos produtoras de ácido indolacético. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 24, p. 60-64, 2011.
- MUÑOZ, C.; ROJAS, D.; CANDIA, O.; AZOCAR, L.; BORNHARDT, C.; ANTILEO, C. Supervisory control system to enhance partial nitrification in an activated sludge reactor. **Chemical Engineering Journal**, v. 145, n. 3, p. 453-460, 2009.

- NETO, J. F.; COSTA, C. H. M.; CASTRO, G. S. A. Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 1-13, 2012.
- NEYRA, C. A.; DÖBEREINER, J. Nitrogen fixation in grasses. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 29, p. 1-38, 1977.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 421p, 1989.
- NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. Manual de Laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 313 p., 2005.
- NORTON, J. M. Nitrification. In: SUMMER, M. E., ed. **Handbook of Soil Science**. Boca Raton, CRC Press, 2000.
- NOVAKOWISKI, J. H; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; MORAES, A.; NOVAKOWISKI, J. H.; CHENG, N. C. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, p.1687-1698, 2011.
- NOVO, M. C. S. S. de; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. Nitrogênio e potássio na fixação simbiótica de N_2 por soja cultivada no inverno. **Scientia Agricola**, v.56, n.01, p.143-156, 1999.
- NUIERNBERG, N. J. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação no rendimento e características de um solo na encosta basáltica sul-riograndense. 146 f. 1983. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.
- NUNES, J. A. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. Bulk density and water tensions in the soil on corn root production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, Campina Grande, 2016.
- OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, p.169-221, 1996.
- OLIVEIRA, L. R.; MIRANDA, G. V.; DELIMA, R. O.; FRITSCHE-NETO, R.; GALVÃO, J. C. C. Eficiência na absorção e utilização de nitrogênio e atividade enzimática em genótipos de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 614-621, jul-set, 2013.
- OWEN, A. G.; JONES, D. L. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. **Soil Biology and Biochemistry**, 33:651-657, 2001.
- PALUDO, J. T. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; ZANOTTO, M. D.; FENNER, W.; KOETZ, M. Reproductive components of safflower genotypes submited of bulk density levels in the Brazilian Cerrado. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, 2069-2082, 2017.

- PARENTE, H. N.; MAIA, M. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, 2011.
- PARR, J. F.; REUSZER, H. W. Organic matter decomposition as influenced by oxygen level and flow rate of gases in the constant aeration method. **Soil Science Society of America, Proceedings**, 26:552-556, 1962.
- PARSONS, R.; SUNLEY, R. J. Nitrogen nutrition and the role of root-shoot nitrogen signalling particularly in symbiotic systems. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 435-443, 2001.
- PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 29, p. 717-728, 1991.
- PEDÓ, Fábio. Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo. 1986. 101 f. Dissertação (Mestrado) Setor de Uso e Conservação do solo, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986.
- PEDROTTI, A.; VAHL, L. C.; PAULETTO, E. A. Absorção de nutrientes em diferentes níveis de compactação de um Planossolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina. **Anais**... Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, p. 302-304, 1994.
- PEIXOTO, M. P.; PEIXOTO, C.; SAMPAIO, L.; SAMPAIO, H.; SOUZA, R.; ALMEIDA, J. R. C. Ação do herbicida alachlor na microbiota do solo, nodulação e rendimento de plantas de amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 2, p. 60-70, 2010.
- PEREIRA, P. A. A.; BALDANI, J. I.; BLANA, R. A. G.; NEYRA, C. A. Assimilação e translocação de nitrogênio em relação a produção de grãos e proteínas em milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 28-31, 1981.
- PIETRO-SOUZA, W.; BONFIM-SILVA, E. M.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 575-580, 2013.
- PIÑERO, D.; MARTÍNEZ, E.; SELANDER, R. K. Genetic diversity and relationships among isolates of *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 54, n. 11, p. 2825-2832, nov. 1988.
- PINTO, C. de M.; TÁVORA, F. J. F.; BEZERRA, M. A.; CORRÊA, M. C. de. M. Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, v.29, n.3, p.429-436, julset. 2008.

- PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; PERES, A. R.; GITTI, D. C.; GARCIA, N. F. S. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n.4, p. 639-649, out-dez, 2017.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. de. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.929-938, 2000.
- RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: A review toward managing the problem. **Advances in Soil Science**, 11:1-36, 1990.
- RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, Potafos, 343p, 1991.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos de Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. .J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.
- 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**, 32: 1805-1816, 2008.
- REIS JÚNIOR, F. B.; TEIXEIRA, K. R. S.; REIS, V. M. **Fixação biológica de nitrogênio associada a pastagens de Braquiária e outras gramíneas forrageiras**. Planaltina: DF, Embrapa Cerrados, Documentos 52, 2002.
- REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C. H. R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista da Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 921-931, 2006.
- REIS, V. M.; PEDRAZA, R. O. ; TEIXEIRA, K. R. S. **Diversidade e relação filogenética de espécies do gênero** *Azospirillum***.** Embrapa Agrobiologia, Documentos 273, p. 14. Seropédica, RJ, 2010**.**
- REIS, V. M.; TEIXEIRA, K. R. S. **Fixação biológica do nitrogênio estado da arte**. 2006. Disponível em < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/biotacap6ID-cgUrYruYKy.pdf> Acesso fev./2017.

- RIBEIRO, M. A. V. Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade. 71 f. 1999. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- ROCHA, F. A.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CANTARUTTI, R. B.; SILVA, J. O. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo. Parte II: Reações biológicas durante a lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.54-61, 2008.
- ROCHA, G. P. Bactérias associativas e simbiontes dos nódulos de *Arachis pintoi* (leguminosae). Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, BA. 2007.
- RODRIGUES, R. A. R.; de MELLO, W. Z.; da CONCEIÇÃO, M. C. G.; de SOUZA, P. A.; SILVA, J. N. N. Dinâmica do nitrogênio em Sistemas Agrícolas e Florestais Tropicais e seu Impacto na Mudança do Clima. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 5, p. 1868-1886, 2017.
- RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 91, p. 552-555, 2004.
- ROSEMBERG, N. J. Response of plants to the physical effects of soil compaction. **Advances in Agronomy**, v.16, p. 181-196, 1964.
- ROSOLEM C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; Sacramento, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**. 53: 259-266, 1994.
- ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, 65:109-115, 2002.
- ROSSETI, K. V.; CENTURION, J. F.; Indicadores de qualidade em Latossolos compactados e suas relações com o crescimento do sistema radicular do milho. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 3, p. 181-190, julho-setembro, 2017.
- ROWLAND, D. L.; SMITH, C.; COOK, A.; MASON, A.; SCHREFFLER, A.; BENNETT, J. Visualization of peanut nodules and seasonal nodulation pattern in different tillage systems using a minirhizotron system. **Peanut Science**, 42, 1-10, 2015.
- RUDNICK, P.; MELETZUS, D.; GREEN, A.; HE, L.; KENNEDY, C. Regulation of nitrogen fixation by ammonium in diazotrophic species of proteobacteria. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, p. 831-841, 1997.
- RUSSEL, E. J.; RUSSEL, E. W. Las condiciones de suelos y el desarrollo de las plantas. Aguilar, Madrid. 771 p., 1964.

- RUSSELL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility The response of roots to mechanical impedance. Neth. **Journal of Agricultural Science**, 22, p. 305-318, 1974.
- RYLE, G. J. A.; POWELL, C. E.; GORDON, A. J. The respiratory costs of nitrogen fixation in soyabean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, v.30, p.145-153, 1979.
- SÁ, M. A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. Embrapa Cerrados. Planaltina, v.136 p.9-26, 2005.
- SANTOS, C. C.; GUIMARÃES, S. L.; FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A. C. Crescimento inicial de plantas de amendoim inoculadas com rizóbio isolado de feijão caupi. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1097-1105, 2014.
- SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD, N. P. FREITAS, A. D. S.; VIEIRA, I. M. M. B.; SOUTO, S. M.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. G. Efetividade de rizóbios isolados de solos da região Nordeste do Brasil na fixação do N₂ em amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 301-307, 2005.
- SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD, N. P.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N.G.; BORGES, W. L.; BEZERRA, R. V.; FREITAS, A. D. S. Diversidade de rizóbios capazes de nodular leguminosas tropicais. **Agrária**, 2: 249-256, 2007.
- SANTOS, D. M. S.; BUSH, A.; SILVA, E. R.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Bactérias fixadoras de nitrogênio e molibdênio no cultivo do amendoim em solo do Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia –MS, v. 4, Suplemento 1, p. 84-92, dez. 2017 a.
- SANTOS, J. W. M.; SILVA, J. F.; FERREIRA, T. D. S.; DIAS, M. A. M.; FRAIZ, A. C. R.; ESCOBAR, I. E. C.; SANTOS, R. C.; LIMA, L. M.; MORGANTE, C. V.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Molecular and symbiotic characterization of peanut bradyrhizobia from the semi-arid region of Brazil. **Applied Soil Ecology** (121), p. 177-184, 2017 b.
- SANTOS, M. C. Desenvolvimento do sistema radicular do milheto (*Pennisetum americanum* (L.) em duas classes de solo em densidades e diferentes profundidades da camada compactada. 2006. 73 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2006.
- SANTOS, R. C. BRS 151 L-7: nova cultivar de amendoim para as condições do Nordeste Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 665-670, 2000.
- SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A.; CRUZ, M. C. P.; LUGÃO, S. M. B.; CAMPOS, F. P.; CENTURION, J. F.; FERREIRA, M. E. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.183-193, 2008.

- SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A.; PEREIRA, L. B. Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 4, p. 474-486, 2016.
- SCHLOERRING, J. K.; HUSTED, S.; MÄCK, G.; MATTSSON, M. The Regulation of ammonium translocation in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, n 370, p.883-890, 2002.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A. C.; TAFFAREL, V.; TAFFAREL, J. Plantio direto do arroz de sequeiro de alta tecnologia na zona tropical úmida do centro-norte do Mato Grosso. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 86, p. 1-28, jun., 1999.
- SERVIÇO DE REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES SRNC. **Relatório livre amendoim**. MAPA. Tabela recebida por e-mail em 19/07/2017.
- SHITTU K. A.; AMUSAN, A. A. Effects of different agricultural land use types on physical properties under rainforest agroecology. **African Journal of Agricultural Research**, 10(15):1817-1822, 2015.
- SILVA, A. C.; CAVALCANTE, A. C. P.; CAVALCANTE, A. G.; DINIZ NETO, M. A. Bactérias fixadoras de nitrogênio e substratos orgânicos no crescimento e índices clorofiláticos de amendoim. **Revista Agrotec**, v. 37, n. 1, p. 1-8, 2016 a.
- SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAÚJO JÚNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 207-216, 2006 a.
- SILVA, D. J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 165 p., 1990.
- SILVA, E. F. L.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; NUNES, L. A. P. L.; CARNEIRO, R. F. V. Fixação Biológica do N_2 em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 394-402, 2010.
- SILVA, E. R.; SALLES, J. S.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* em sementes de amendoim de diferentes tamanhos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia –MS, v. 4, Suplemento 1, p. 93-102, 2017.
- SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 31-40, 2006 b.
- SILVA, G. J.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo vermelho-amarelo do Cerrado Mato-Grossense sob diferentes formas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.2135-2143, 2008.

- SILVA, N. L.; GUIMARÃES, S. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; CANUTO, E. L.; SOUSA, H. H. F.. Effect of compactation of soil on the development and production of cowpea inoculated with rhizobium. **African Journal of Microbiology Research**, v. 10, p. 2007-2014, 2016 b.
- SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1001-1010, 2002.
- SILVA, S. R.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S. Effect of compaction on microbial activity and carbon and nitrogen transformations in two Oxisols with different mineralogy. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 1141-1149, 2011.
- SILVEIRA, P. M.; DAMASCENO, M. A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p.1269-1276, 1993.
- SIZENANDO, C. I. T.; RAMOS, J. P. C.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; LIMA, L. M.; FREIRE, R. M. M.; SANTOS, R. C. Agronomic efficiency of *Bradyrhizobium* in peanut under different environments in Brazilian Northeast. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 3482-3487, 2016.
- SIZENANDO, Ciro Igor Torres. **Estimativa de produção de genótipos de amendoim inoculados com isolados de** *Bradyrhizobium.* 2015. 59 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias) Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2015.
- SMIL, V. Abonos nitrogenados. **Investigación y Ciencia**, n. 09, p. 64 70, Barcelona, 1997.
- SOANE, B. D.; van OUWERKERK, C. Soil compaction in crop production. Amsterdam, **Elsevier**, p. 1-21, 1994.
- SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 370-377, abr. 2011.
- SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J. Auxin signaling in *Azospirillum brasilense*: a proteome analysis. In: BRUIJN, F. J. de. **Biological nitrogen fixation**. Wiley, Hoboken, p. 937–940, 2015.
- STANCATI, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. **Compactação do solo**. São Paulo, Universidade de São Paulo, p.81-93, 1981.
- STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology Reviews**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 487-506, 2000.
- STEVENSON, F. J. Nitrogen in agricultural soil. Madison: ASA/SSSA, 1982.

- STIRZAKER, R. J.; PASSIOURA, J. B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: Impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.185, n.1, p.151-162, 1996.
- STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, A. A. J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.
- STRALIOTTO, R.; RUMJANEK, N. G. Biodiversidade do rizóbio que nodula o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e os principais fatores que afetam a simbiose. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 51 p., 1999.
- SUASSUNA, T. M. F.; BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, D. S.; FERNANDES, O. A.; ALBUQUERQUE, F. A.; ANDRADE, F. P.; RAMOS, G. A.; BARROS, M. A. L.; COUTINHO, W. M.; SUASSUNA, N. D.; SILVA, O. R. R. F.; SOFIATTI, V. **Sistema de Produção de Amendoim**, Sistemas de Produção Embrapa, Embrapa Algodão, v. 7, fev. 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:725-730, 2001.
- TAYLOR, H.M. Effect of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: BARNES, K. K., org. compaction of agricultural soils. **American Society of Agricultural Engineers**, Madison, p. 292-305, 1971.
- TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium-to-coarse-textured soil materials. **Soil Science**, 102:18-22, 1966.
- THIES, J. E.; BOHLOOL, B. B.; SINGLETON, P. W. Subgroups of de Cowpea miscellany: symbiotic specificity within *Bradyrhizobium* spp. for *Vigna unguiculata*, *Phaseolus lunatus*, *Arachis hypogaea* and *Macroptilum atropurpureum*. **Applied Environmental Microbiology**, v.57, n.5, p.1540-1545, 1991.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Fixação biológica do nitrogênio na soja. In: SOJA: **Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre, p.113-126, 2010.
- TIBAU, A. C. **Matéria orgânica e fertilidade do solo.** 3. ed. São Paulo: Editora Nobel, 220p., 1984.

- TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, p.1016-1024, 1979.
- TORBERT, H. A.; WOOD, C. W. Effects of soil compaction and water-filled pore space on soil microbial activity and N losses. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, 23:1321-1331, 1992.
- TORRES-JÚNIOR, C. V.; LEITE, J.; SANTOS, C. E. R. S.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; ZILLI, J. É.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Diversity and symbiotic performance of peanut rhizobia from Southeast region of Brazil. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, n. 6, p. 566-577, 2014.
- TRIPATHI, A. K. Rhizobia of the β -subclass of Proteobacteria: a tale of losing the race. **Current Science**, v. 82, p. 8-9, 2002.
- TURAN, M.; GULLUCE, M.; von WIRÉN, N. SAHIN, F. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth-promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, 175:818–826, 2012.
- TURNER, N. C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 58, n. 1, p. 293-325, 1997.
- U. S. CENSUS BUREAU. **An Aging World: 2015.** Disponível em < https://census.gov/content/dam/Census/library/publications/2016/demo/p95-16-1.pdf >. Acesso em mar/2017.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World Agricultural Production.** July 2018. Disponível em < https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf> Acesso julho/2018.
- VALADÃO, F. C. A.; WEBER, OSCARLINA L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 243-255, 2015.
- VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.
- VAN LIER, Q de JONG. Oxigenação do Sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 233-238, 2001.
- VARVEL, G. E., SCHEPERS, J. S., FRANCIS, D. D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.4, p.1233-1239, 1997.

- VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; PAULA, A. M.; ANDRADE, J. B.; CARDOSO, E. J. B. N. Nitrogênio, carbono e compactação do solo como fatores limitantes do processo de recuperação de matas ciliares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1164-1173, 2013.
- VITTI, G. C.; FAVARIN, J. L.; RESENDE, L; O.; TREVISAN, W. **Manejo do nitrogênio em diversos sistemas de produção agrícola.** Piracicaba: SERRANA/FEALQ/GAPE, 38 p., 1999.
- VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: YAMADA, T.; STIPP; ABDALLA, S. R.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007.
- VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil. compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 4:242-246, 1961.
- WALSH, K. B. Physilogy of the legume nodule and its response to stress. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 637-655, 1995.
- WEISZ, P. R.; SINCLAIR, T. R. Regulation of soybean nitrogen fixation in response to rhizosphere oxygen II. Quantification of nodule gas permeability. **Plant Physiology**, 84: 906-910, 1987.
- WHITELEY, G. M.; DEXTER, A. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. **Soil and Tillage Research**, 2, p. 379-393, 1982.
- XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; RIBEIRO, J. R. A.; RUMJANEK, N. G. Especificidade Simbiótica entre Rizóbios e acessos de Feijão-Caupi de Diferentes nacionalidades. **Revista Caatinga**, v.19, n.1, p.25-33, 2006.
- YADAVA, U. L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 6, p. 1449-1450, dec., 1986.
- ZAIED, K. A.; ABD EL-HADY, A. H.; AFIFY, A. H.; NASSEF, M. A. Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculants of rhizobacteria. **Journal Biology Science**, v. 4, p. 344-358, 2003.
- ZIILLI, J. E.; MARSON, L. C.; MARSON, B. F.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Inoculação de *Bradyrhizobium* em soja por pulverização em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 541-544, abr. 2008.
- ZILLI, J. E.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-semeadura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 335- 338, mar. 2010.