

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA

SELEÇÃO DE RIZÓBIOS E COMPATIBILIDADE SIMBIÓTICA EM DIFERENTES  
VARIEDADES DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

RECIFE

FEVEREIRO/2015

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA

SELEÇÃO DE RIZÓBIOS E COMPATIBILIDADE SIMBIÓTICA EM DIFERENTES  
VARIEDADES DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Melhoramento Genético de Plantas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Melhoramento Genético de Plantas.

**Orientação**

PhD. Mario de Andrade Lira Junior

*Professor, Departamento de Agronomia – UFRPE*

**Co-orientação**

Dr. Antonio Félix da Costa

*Pesquisador, IPA (Instituto Agrônômico de Pernambuco)*

Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

*Pesquisadora, Departamento de Agronomia - UFRPE*

RECIFE

FEVEREIRO/2015

Ficha catalográfica

S729s Souza, Amanda Cordeiro de Melo  
Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) / Amanda Cordeiro de Melo Souza. – Recife, 2015.  
67 f. : il.

Orientador: Mario de Andrade Lira Junior.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia – Melhoramento Genético de Plantas) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2015.  
Referências.

1. Feijão-caupi 2. Fixação biológica de nitrogênio 3. Eficiência 4. Estabilidade I. Lira Junior, Mario de Andrade, orientador  
II. Título

CDD 581.15

SELEÇÃO DE RIZÓBIOS E COMPATIBILIDADE SIMBIÓTICA EM DIFERENTES  
VARIETADES DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 23 de fevereiro de  
2015.

Orientador:

---

PhD. Mario de Andrade Lira Junior  
(Professor do Departamento de Agronomia -  
UFRPE)

Banca Examinadora:

---

Dr. José Nildo Tabosa  
(Pesquisador do Instituto Agrônomo de  
Pernambuco)

---

Dr. Clayton Albuquerque de Sousa  
(Professor do Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia da Paraíba)

RECIFE

FEVEREIRO/2015

*Aos meus pais e irmão,  
pelo amor, amizade e  
confiança, Ofereço.*

*Aos familiares e amigos,  
pela apoio, respeito e por  
acreditarem em mim, Dedico.*

*“Seja você quem for, seja qual for a  
posição social que você tenha na vida, a  
mais alta ou a mais baixa, tenha sempre  
como meta muita força, muita  
determinação e sempre faça tudo com  
muito amor e fé em Deus, que um dia  
você chega lá. De alguma maneira você  
chega lá .” (Ayrton Senna da Silva)*

# Agradecimentos

Agradeço a Deus, por ser tão presente em minha vida, me fortalecer e me guiar todos os dias, para que eu consiga continuar a caminhar com passos firmes, e enfrentar os obstáculos.

Aos meus pais, por construírem uma família sólida, repleta de amor, incentivo, compreensão e apoio. Por sempre me mostrarem o caminho mais correto e formarem o meu caráter e do meu irmão.

Ao meu irmão, pela presença constante, cumplicidade, pelo infinito amor.

Ao meu namorado, pelo companheirismo, pelas conversas, amor, dedicação e respeito em todos os momentos.

À minha família e à família do meu namorado, pelo apoio e conselhos.

Ao meu orientador Professor Ph.D. Mario de Andrade Lira Junior, pela oportunidade, confiança, competência, conselhos e ensinamentos.

Ao meu co-orientador Dr. Antonio Félix, pelos conhecimentos transmitidos, incentivo, gentileza e amizade.

A todos os amigos do mestrado, pelo companheirismo, pelos momentos estressantes, e também de alegria.

Aos eternos amigos “irmãos” PETianos do PET-Biologia, pelo apoio, incentivo, apertões de orelhas, conselhos e carinho desde a graduação.

Às minhas amigas Daiane, Tamiris, Laiza, Esther e Ericka, pelas infinitas conversas, troca de idéias, apoio, amor e respeito.

A todos do Laboratório de Diversidade Microbiana, e seu núcleo de apoio: João Paulo Cavalcante, Thiago Lira, Luciana, Clayton, Tamiris Kempner, Alane, Ariel, Adeneide, Camila, Ítalo, Victor, Juscélia, pela amizade, apoio, e ajuda.

Aos amigos que fiz no IPA, em especial Dr. Zé de Paula e Marilene, pelo apoio e incentivo.

Aos que formam o Laboratório de Microbiologia do Solo, à Dra. Ana Dolores, pela ajuda durante a execução do projeto.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, sobretudo aos que compõem

o Programa de Pós-graduação em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas, pela assistência e colaboração nos serviços prestados.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os que, direta ou indiretamente, mesmo que não citados, incentivaram e colaboraram com a realização deste trabalho, todo o meu carinho e gratidão, obrigada.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

FBN – Fixação Biológica de Nitrogênio

Nod Factors - Nodulation Factors (Fatores de Nodulação)

YMA – Yeast Malt Agar

YM – Yeast Malt

MSPA – Matéria Seca da Parte Aérea

MSSR – Matéria Seca do Sistema Radicular

MSN – Matéria Seca dos Nódulos

NN – Número de nódulos

TNPA – Teor de Nitrogênio na Parte Aérea

ANPA – Acúmulo de Nitrogênio na Parte Aérea

ERN - Eficiência Relativa com Base no Acúmulo de Nitrogênio

ER – Eficiência Relativa



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

- Tabela 1** - Valores médios da matéria seca do sistema radicular (MSSR), matéria seca dos nódulos (MSN), número de nódulos (NN), matéria seca de nódulos por número de nódulos (MSNN) e nitrogênio acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos (ANPAMSN) de isolados de rizóbios..... 44
- Tabela 2** - Valores médios da matéria seca da parte aérea (MSPA) de isolados de rizóbios inoculados nas variedades BR 17-Gurguéia, IPA-206 e BRS Novaera de feijão-caupi..... 47
- Tabela 3** - Valores médios do teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA) e acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) de isolados de rizóbios inoculados nas variedades BR 17- Gurguéia, IPA-206 e BRS Novaera de feijão-caupi..... 59
- Tabela 4** - Valores médios da eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN) e eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR) de isolados de rizóbios inoculados nas variedades BR 17-Gurguéia, IPA-206 e BRS Novaera de feijão-caupi..... 51
- Tabela 5** - Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade da matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA), acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA), eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN) e eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR) de três variedades de feijão-caupi nos diferentes tratamentos de inoculação, considerados como ambientes, segundo a metodologia de Eberhart and Russel (1966) ..... 53
- Tabela 6** - Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA) e acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) dos diferentes tratamentos de inoculação sobre as três variedades consideradas como ambientes, segundo a metodologia de Eberhart and Russel (1966). ..... 56
- Tabela 7** - Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade da eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN) e eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR), dos diferentes tratamentos de inoculação sobre as três variedades consideradas como ambientes, segundo a metodologia de Eberhart and Russel (1966)..... 58

## SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	12
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. Feijão-caupi: aspectos gerais.....	15
2.2. Fixação Biológica de Nitrogênio.....	16
2.3. Fatores que afetam a FBN.....	17
2.3.1. Fatores abióticos.....	17
2.3.2. Fatores bióticos.....	18
2.4. Compatibilidade simbiótica.....	19
2.5. Adaptabilidade e estabilidade como técnica para estudar a estabilidade da simbiose.....	20
3. REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO II.....	36
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
INTRODUÇÃO.....	39
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÕES GERAIS.....	59
AGRADECIMENTOS.....	60
REFERÊNCIAS.....	60

## RESUMO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] é uma planta autógama, que apresenta cleistogamia, amplamente cultivado nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Sua rusticidade e plasticidade fenotípica permitem cultivá-lo em condições de clima e solo adversas e é capaz de estabelecer simbiose com rizóbios, ocorrendo a fixação biológica de nitrogênio (FBN). A FBN fixa o N<sub>2</sub> atmosférico através de um complexo enzimático chamado nitrogenase. As estirpes de rizóbios, para fixar nitrogênio nas plantas, dependem de fatores intrínsecos do processo da simbiose bactéria-leguminosa e de fatores ambientais que afetam a sobrevivência da planta. O objetivo do trabalho foi avaliar a compatibilidade simbiótica e a eficiência de isolados obtidos a partir de solos da região semiárida de Pernambuco e da estirpe recomendada BR 3262, e sua estabilidade simbiótica nas variedades BR 17-Gurguéia, IPA 206 e BRS Novaera selecionadas para diferentes regiões do Brasil. Um experimento foi conduzido em casa de vegetação com as três variedades de caupi e 25 isolados, tratamentos sem inoculação com e sem N e inoculação com a estirpe referência BR 3262. A colheita foi aos 45 dias após a inoculação, determinando matérias secas da parte aérea, raiz e nódulos, número de nódulos, matéria seca de nódulos por número de nódulos, N acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos, teor de N na parte aérea, acúmulo de N na parte aérea, eficiência relativa à estirpe recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio, eficiência relativa à estirpe recomendada baseada na matéria seca da parte aérea. As plantas de todos os tratamentos inoculados nodularam. Para matéria seca dos nódulos, 16 isolados não diferiram de BR 3262. Para a matéria seca de nódulos por número de nódulos, 20 isolados não diferiram da BR 3262, e 18 isolados não diferiram para nitrogênio acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos. Os tratamentos com e sem N e sem inoculação estiveram entre as menores médias para teor de N na parte aérea e eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de N em comparação com os tratamentos inoculados. As estirpes com melhor estabilidade e adaptabilidade a variedades com alto potencial para fixação biológica de nitrogênio são G7.85 e BR 3262.

**Palavras-chave:** feijão-caupi, fixação biológica de nitrogênio, eficiência, estabilidade.

## ABSTRACT

The cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] is a autogamous plant that presents cleistogamy, widely cultivated in the North and Northeast regions of Brazil. It's rusticity and phenotypic plasticity allow it's cultivation in adverse weather conditions and soil and it is capable of establishing symbiosis with rhizobia, with biological nitrogen fixation (BNF). BNF fixes atmospheric N<sub>2</sub> by an enzymatic complex called nitrogenase. Rhizobia strains, to fix nitrogen with plants, depend on factors intrinsic to the bacteria-legume symbiosis process and on environmental factors that affect the survival of the plant. The objective was to evaluate symbiotic compatibility and efficiency of isolates obtained from the soils semi-arid region of Pernambuco and the recommended strain BR 3262, and its symbiotic stability in cultivars BR 17-Gurguéia, IPA 206 and BRS Novaera selected for different regions of Brazil. A greenhouse experiment was conducted with these cultivars, 25 isolates, the recommended strain and uninoculated treatments with and without N. Harvest was 45 days after inoculation and dry matter of shoots, roots and nodules, nodule number, dry weight of nodules by number of nodules, N accumulated in shoots dry matter by nodules, N content in the shoot, N accumulation in the shoots on the recommended efficiency strain based on the accumulation of nitrogen, on the recommended efficiency strain based on dry matter of shoots were determined. The plants of all inoculated treatments nodulated. Sixteen isolates did not differ from BR 3262 nodules dry matter. For dry weight of nodules by number of nodules, 20 isolates did not differ from BR 3262, and 18 isolates were similar to nitrogen accumulated in the shoot dry matter by the nodules. The nitrogen treatment with and without inoculation were among the lowest average for N content in shoot and relative efficiency of N accumulation compared to the inoculated treatments. The strains with improved stability and adaptability to cultivar with high potential for biological nitrogen fixation are G7.85 and BR 3262.

**Key words:** cowpea, biological nitrogen fixation, efficiency, stability.

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA  
Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

## **CAPÍTULO I**

---

### **INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA**

## 1. Introdução Geral

A família Fabaceae, conhecida comumente como leguminosa, é a segunda mais importante em termos agrícolas (Mun et al. 2006, Singh et al. 2007), ocupando aproximadamente 15 % das terras aráveis do planeta e respondendo por cerca de 27 % da produção agrícola mundial (Tran and Nguyen 2009). No Brasil, as leguminosas ocupam posição de destaque, desempenhando importante papel socioeconômico, tanto no âmbito nacional quanto regional, com ênfase, entre outras, para o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] (Dantas et al. 2002).

O feijão-caupi é bastante consumido no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, sendo utilizado principalmente como grãos secos ou verdes (Rocha 2009). Dados disponíveis na FAO (2009) sobre a produção mundial de feijão-caupi, no ano de 2007, indicam que a cultura atingiu 3,6 milhões de toneladas em 12,5 milhões de hectares.

Sua rusticidade e plasticidade fenotípica permitem seu cultivo em condições adversas de clima e solo. Isso, associado ao seu potencial para fornecimento de grãos, decorrente de sua ampla variabilidade genética e boa capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico, diminui a dependência quase exclusiva do feijão-comum para alimentação humana, conferindo ao feijão-caupi certo valor estratégico (Freire Filho et al. 2011).

A grande importância da fixação biológica de nitrogênio (FBN) está relacionada às vantagens econômicas e ecológicas associadas ao processo, e o incremento na sua eficiência tem um impacto considerável no balanço global do nitrogênio, além do aumento na eficiência dos sistemas agrícolas (Costa et al. 2007).

A FBN ocorre pela associação simbiótica de leguminosas com bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas, os rizóbios, formando nódulos nas raízes ou caules de plantas, e utilizando o N<sub>2</sub> atmosférico através de um complexo enzimático denominado nitrogenase, capaz de romper a tripla ligação do N<sub>2</sub> e reduzir em amônia (NH<sub>3</sub>), que será assimilada em aminoácidos e proteínas utilizados pelas plantas (Bulgarelli et al. 2013).

O processo de fixação biológica de nitrogênio é dividido em várias etapas: multiplicação do rizóbio no solo e nas raízes da planta, emissão de sinais quimiotáticos entre bactéria e planta, reconhecimento do hospedeiro, formação do

cordão de infecção, desenvolvimento do nódulo, fixação do nitrogênio e remoção da  $\text{NH}_3$  fixada (Vargas and Hungria 1997, Mathesius, 2003).

O feijão-caupi tem a capacidade de nodular com uma ampla faixa de rizóbios (Rumjanek et al. 2005), sendo provável que, em muitas situações, as estirpes nativas dos solos nodulem as plantas e formem simbiose eficiente (Silva et al., 2008). Contudo, o desempenho da simbiose quanto à fixação biológica do nitrogênio (FBN) depende da interação entre planta e bactéria (Krasova-Wade et al. 2003, Schulze 2004, Jemo et al. 2006).

O levantamento contínuo de bactérias em culturas estratégicas como o feijão-caupi, deve ser considerado visando à seleção de associações mais eficientes e adaptáveis a situações amplas ou específicas para recomendar para fins biotecnológicos e ampliar a contribuição da FBN nos sistemas agrícolas (Martins et al. 2003, Chagas Junior et al. 2010).

Nesse contexto, a introdução de novas técnicas e estudos que visam fornecer informações úteis para o aperfeiçoamento do processo de avaliação da estabilidade simbiótica e indicação de variedades adaptadas a ambientes diversos, poderá contribuir com maior segurança na recomendação de variedades e estirpes.

O presente trabalho objetivou avaliar a compatibilidade simbiótica e a eficiência de isolados obtidos a partir de solos do semiárido pernambucano e da estirpe de *Bradyrhizobium* sp. BR 3262 recomendada para produção de inoculantes, e sua estabilidade simbiótica em três variedades de feijão-caupi cultivadas, tradicionalmente, em diferentes regiões do Brasil.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Feijão-caupi: aspectos gerais

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] comumente conhecido como feijão macassar, feijão-de-corda, feijão fradinho, feijão verde, feijão baiano, é uma planta autógama, que apresenta cleistogamia, pertencente à classe Magnoliopsida (Dicotyledoneae), família Fabaceae, sendo amplamente cultivado em regiões tropicais (Teófilo et al. 1999, Almeida et al. 2005, Apg III 2009, Brito et al. 2011, Freire Filho et al. 2011).

O caupi tem provável centro de origem na África, tendo sido introduzido no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses, no Estado da Bahia, de onde se expandiu por todo o País (Alves et al. 2009). É amplamente cultivado nas regiões Norte e Nordeste, e vem se expandindo para o Centro-Oeste (Freire Filho 2011, Oliveira et al. 2001).

O agronegócio do feijão-caupi é uma atividade fundamental no Brasil, especialmente no Nordeste, pela possibilidade de fornecer alimentação humana e animal (Vieira et al. 2010), sendo também utilizada como forragem, adubo verde, cobertura do solo, e sua comercialização realizada na forma de vagens verdes, sementes, farinha para acarajé, e produtos pré-cozidos e congelados (Andrade Júnior et al. 2002). Suas sementes são fontes de proteínas e aminoácidos, como a tiamina e a niacina, além de fibras dietéticas, sendo consumidas na forma de grãos secos e de grãos verdes, bastante apreciados por seu gosto e cozimento fácil, utilizados em pratos típicos da região nordestina (Correa et al. 2012).

Parâmetros socioeconômicos associados à cultura do feijão-caupi, entre os anos 2005 e 2009, pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), revelaram mais de um milhão de empregos em sua cadeia produtiva, tendo o valor da produção alcançado cerca de 700 milhões de reais. Estatísticas mais recentes, infelizmente, não são possíveis, pois atualmente não há separação da produção de feijão-caupi com a de feijão comum, sendo estes englobados como feijões. No Brasil, há cerca de 63 cultivares comerciais de feijão-caupi, como BR 17-Gurguéia, BRS Novaera, BRS Paraguaçu, BRS Guariba, Miranda IPA 207, entre outras (Freire Filho et al. 2011, Marsaro Júnior and Vilarinho 2011, Ageitec 2011).



A rusticidade e plasticidade fenotípica do feijão-caupi permitem cultivá-lo em condições edafoclimáticas adversas, contribuindo para diminuir a dependência do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), principal feijão consumido no Brasil, mas que não se desenvolve bem nas áreas de poucas chuvas e temperaturas elevadas, o que confere ao feijão-caupi certo valor estratégico (Freire Filho et al. 2011). Em estudo realizado no Quênia, envolvendo tolerância a altas temperaturas em regiões semiáridas, Hornetz et al. (2001) observaram maior adaptabilidade do gênero *Vigna* em relação ao *Phaseolus*.

Além de ser uma cultura rústica e que tolera considerável deficiência hídrica, uma característica importante do caupi é a capacidade de estabelecer simbiose com rizóbios, realizando a fixação biológica do N<sub>2</sub> (FBN), uma das formas de aumentar a produtividade de leguminosas e substituir os adubos nitrogenados minerais (Franco et al. 2002, Martins et al. 2003). A FBN é reconhecidamente eficiente em feijão-caupi que, quando bem nodulado, pode atingir altos níveis de produtividade (Rumjanek et al. 2005).

## **2.2. Fixação Biológica de Nitrogênio**

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é feita por uma série de procariotos, conhecidos como bactérias fixadoras de nitrogênio (Ahmad et al. 2008). Em leguminosas, os rizóbios ou bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas, se associam com o sistema radicular da planta hospedeira por meio do desenvolvimento de estruturas denominadas nódulos, onde ocorre a fixação de nitrogênio atmosférico. Essa associação é caracterizada como simbiose leguminosa-rizóbio que é de grande importância econômica e ambiental (Fagan et al. 2007, Santos and Reis 2008, Moreira et al. 2010).

A maioria das leguminosas de importância econômica é capaz de nodular e fixar N<sub>2</sub>, e dessa forma o processo pode aumentar a produtividade das culturas, reduzir o uso da adubação nitrogenada, economizar combustíveis fósseis, reduzir o custo da produção, suprimento de nitrogênio para o desenvolvimento das plantas, aumentar o sequestro de carbono no solo e diminuir a poluição ao meio ambiente (Graham and Vance 2003, Franco and Campello, 2005, Pereira et al. 2006, Fornara 2011, Silva et al. 2011, Stephen 2012).

A FBN é um processo simbiótico complexo, que envolve várias etapas, incluindo modificações fisiológicas e morfológicas, tanto na planta hospedeira como na bactéria. As bactérias diferenciam-se em bacteróides nos nódulos da planta hospedeira, fixando nitrogênio pela redução de enzimas do nitrogênio atmosférico à amônia. Em troca, a planta supre a bactéria com fontes de energia e carbono para sua manutenção (Azevedo et al. 2002, Mercante et al. 2002).

O N<sub>2</sub> é reduzido, por meio do complexo enzimático da nitrogenase. Esta é formada por duas unidades protéicas, a Ferro-proteína (Fe-proteína) e a Molibdênio-Ferro-proteína (MoFe-proteína) as quais são responsáveis pela fixação de nitrogênio no nódulo. A Fe-proteína funciona como doadora de elétrons para a MoFe-proteína, em um processo dependente de hidrólise (Teixeira et al. 1998, Marin et al. 1999, Cichelero et al. 2012, Lorenzatto et al. 2013).

O primeiro produto estável contendo o N<sub>2</sub> fixado é a amônia. Esta é conduzida para fora do bacteróide e é incorporada ao ácido glutâmico, que é exportado para a parte aérea das plantas, em espécies como a soja e o feijoeiro, na forma de ureídeos (alantoína e ácido alantóico). Em outras leguminosas, como a alfafa e a ervilha, os produtos intermediários formados são as amidas (glutamina e asparagina); tanto os ureídeos quanto as amidas são transportados para as folhas das plantas pelo xilema e degradados nelas em amônia para formar aminoácidos e proteínas (Crawford and Glass 1998).

### **2. 3. Fatores que afetam a FBN**

As estirpes de rizóbios, para expressar sua capacidade de fixação de nitrogênio nas plantas, dependem de fatores intrínsecos do processo da simbiose bactéria-leguminosa e de fatores ambientais que afetam a sobrevivência da planta (Kahindi et al. 1997). Dentre os fatores mais relevantes, destacam-se os que estão relacionados às condições de clima e solo do local, às variabilidades genéticas das cultivares de leguminosa e das estirpes de rizóbios (Silva et al. 2008)

#### **2.3.1. Fatores abióticos**

Dentre os principais fatores abióticos que interferem na fixação biológica de nitrogênio estão: acidez do solo, salinidade, temperatura e estresse hídrico (Hungria et al. 1985, Martínez-Romero et al. 1991, Figueiredo et al. 2008).

No caso de solos ácidos, podem afetar significativamente a planta, bactéria e simbiose, sendo o microssimbionte o mais afetado. Tal fato pode ocasionar a redução da nodulação (Kahindi et al. 1997, Zahran 1999, Mothapo et al. 2013). Essa condição, além de limitar o crescimento e a produtividade da cultura, origina interações negativas com nutrientes como cálcio, fósforo e molibdênio, que interferem no crescimento tanto da planta quanto dos rizóbios (Straliotto and Rumjanek 1999).

Em solos salinos, originam-se condições de estresse hídrico que afetam a taxa de fotossíntese da planta e o metabolismo do nódulo (Bottomley 1991). O estresse hídrico também influencia na eficiência do estabelecimento dos pares simbiotes, na manutenção e funções dos nódulos, e na síntese de leghemoglobina (Júnior and Reis 2008).

A temperatura é outro fator que limita a FBN. Elevadas temperaturas afetam a sobrevivência do rizóbio no solo, o processo de infecção, a formação dos nódulos e ainda a atividade da fixação biológica, tornando-se um problema para a produção agrícola e colonização bacteriana (Silva et al. 2008).

### **2.3.2. Fatores bióticos**

Dentre os fatores bióticos encontram-se a presença de antagonistas como fungos, bactérias, protozoários predadores de nódulos, alta densidade populacional, competitividade de rizóbios nativos e características genotípicas dos simbiotes (Kahindi et al. 1997, Xavier et al. 2006).

A presença de uma grande gama de antagonistas de nódulos, a alta densidade populacional e a competitividade de rizóbios nativos constituem uma verdadeira barreira contra a inoculação, uma vez que competem pela ocupação dos sítios de infecção nas raízes das plantas hospedeiras (Santos et al. 2007, Medeiros et al. 2009).

A promiscuidade é outro fator intrínseco que afeta o processo de simbiose, já que uma variedade de espécies de rizóbios nodula o caupi. Normalmente, quanto maior a população nativa de rizóbios, mais difícil é a introdução com sucesso da estirpe inoculante (Xavier et al. 2006). A observação de características relativas à

especificidade é importante na seleção de estirpes para a obtenção de um inoculante que apresente maior afinidade com a planta hospedeira e que seja capaz de colonizar as raízes mais eficientemente do que as estirpes nativas (Rumjanek et al. 2005), já que o estabelecimento e efetividade da simbiose dependem das características genéticas da planta e da bactéria e da interação com fatores edafoclimáticos (Kahindi et al 1997).

O processo que determina o sucesso de uma estirpe em ocupar grande parte dos sítios de nodulação das raízes de uma leguminosa é afetado por fatores ambientais e características intrínsecas da estirpe (Freire Filho et al. 2005). Assim é importante o estudo da resposta de diferentes variedades quando inoculadas com estirpes de ambientes diferentes.

#### **2.4. Compatibilidade simbiótica**

O feijão-caupi tem a capacidade de nodular com uma ampla faixa de rizóbios (Rumjanek et al. 2005), sendo provável que as estirpes nativas dos solos nodulem as plantas e formem simbiose eficiente (Silva et al. 2008). Contudo, o desempenho da simbiose quanto à FBN depende da interação entre planta e bactéria (Souza et al. 1999, Krasova-Wade et al. 2003, Schulze 2004, Lima et al. 2005).

O estabelecimento da interação simbiótica exige o prévio e mútuo reconhecimento entre planta hospedeira e bactéria, que ocorre por meio de trocas de sinais bioquímicos específicos. A especificidade pode ocorrer tanto nas fases iniciais da interação, que estão associadas com a infecção bacteriana e a formação de nódulos, como nas fases tardias que estão relacionadas à fixação de nitrogênio (Lieven-Antoniou and Whittan 1997).

A simbiose bactéria-planta começa pela produção de alguns compostos exsudados pela planta hospedeira, como aminoácidos, açúcares, ácidos carboxílicos, polifenóis (flavonóides) e betaínas, cuja função é promover a quimiotaxia, atraindo o rizóbio e favorecendo a adesão da bactéria à superfície dos pêlos radiculares, desencadeando a expressão coordenada de uma série de genes da nodulação, *nod /nol/ noe*, referidos coletivamente como genes *nod*; que são essenciais para a infecção da raiz do hospedeiro e o estabelecimento do nódulo

(Mercante et al. 2002, Taíz and Zieger 2004).

Após serem expressos, estes genes induzem a bactéria a sintetizar um sinal de reconhecimento pelo hospedeiro, os fatores Nod ou lipoquitooligossacarídeos (LCO). Uma vez liberados estes compostos, se houver um reconhecimento pela planta, inicia-se o encurvamento do pelo radicular, seguida da formação dos nódulos. Assim, o processo de nodulação tende a ser específico (Madigan et al. 2004).

O fator Nod é fundamental para que se estabeleça uma relação simbiótica, e pode ser suficiente para ativar precocemente respostas na planta hospedeira. Contudo, não é o único sinal bacteriano requerido para o sucesso da simbiose. Exopolissacarídeos (EPSs) e lipopolissacarídeos (LPSs) são importantes para a simbiose, assim como moléculas sinalizadoras e componentes estruturais, uma vez que estão ligados ao desenvolvimento nodular (Mathis et al. 2005).

Com a ativação dos genes *nod* dos rizóbios, ocorre uma troca de sinais moleculares, onde as bactérias emitem sinais específicos para o hospedeiro, que induz modificações radiculares, como a deformação e o aumento no número dos pêlos radiculares, levando à formação de nódulos. Após as modificações radiculares, ocorre a dissolução das paredes celulares, formando um cordão de infecção que propicia a entrada das bactérias nos nódulos, as quais se diferenciam, transformando-se em bacteróides. Atuam, então, as enzimas relacionadas com a quebra da tripla ligação do N<sub>2</sub> e com a assimilação do nitrogênio fixado (Crawford and Glass 1998).

Assim, podem ser avaliadas respostas diferenciadas quanto à capacidade de fixar nitrogênio e eficiência simbiótica entre variedades e estirpes diferentes (Mandal et al. 1999).

## **2.5. Adaptabilidade e estabilidade como técnica para estudar a estabilidade da simbiose**

As análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos que permitem identificar tratamentos de comportamento mais estável que respondem às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (Polizel et

al. 2013). Diversos métodos são propostos para estimar parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, todos fundamentados na interação genótipo x ambiente. Esses métodos diferenciam-se quanto aos parâmetros utilizados, na definição de adaptabilidade e estabilidade ou na análise estatística (Cruz and Carneiro 2003).

O ambiente para o melhoramento pode ser definido como uma série de condições sob as quais as plantas crescem, podendo envolver locais, anos, épocas, regiões, práticas culturais ou de manejo, entre outros. Para estudos de estabilidade fenotípica, a combinação “local x ano” representando um ambiente é uma das mais utilizadas (Gauch 1988, Zobel et al. 1988).

Finlay and Wilkinson (1963) desenvolveram uma metodologia para avaliar o desempenho genotípico para cada genótipo, sendo ajustada uma regressão linear simples da variável dependente em relação ao índice ambiental. Esta difere da metodologia de Eberhart and Russell (1966), pois estes ampliaram o modelo, considerando também o desvio da regressão para a estimativa da estabilidade. Esse desvio estima a estabilidade de produção, entendida como a previsibilidade do genótipo sob estímulo ambiental. A média da variável dependente fornece um índice ambiental, usado na avaliação do ambiente (Cruz and Carneiro 2003). Na metodologia de Verma et al. (1978), a cultivar ideal é aquela com alta capacidade produtiva e alta estabilidade em ambientes desfavoráveis, mas capaz de responder à melhoria do ambiente. Cruz et al. (1989) modificaram essa técnica, tornando-a mais simples e com propriedades estatísticas mais adequadas ao melhoramento, possibilitando estimar os parâmetros de adaptabilidade desprovidos de correlações residuais indesejadas. A metodologia de Wricke (1965) identifica a cultivar de desempenho superior, considerando sua média geral, e aquela de comportamento mais previsível, em função das variações temporárias proporcionadas pelo ambiente. Na metodologia de Lin and Binns (1988), a medida para estimar a estabilidade e adaptabilidade é o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima obtida no ambiente.

Entre as metodologias utilizadas para avaliar adaptabilidade e estabilidade, o modelo proposto por Eberhart and Russell (1966) é uma das mais difundidas, e já tem possibilitado a identificação de variedades de feijão comum com comportamento previsível em diferentes regiões do Brasil (Ribeiro et al. 2004). No método proposto

por Eberhart and Russell (1966), para cada genótipo é computada uma regressão linear simples da variável dependente, em relação a um índice ambiental (diferença entre a média de cada ambiente e a de todos os ambientes), em que os valores do coeficiente de regressão podem ser positivos ou negativos. Os positivos indicam os ambientes favoráveis, relacionados às regiões com condições climáticas e edáficas apropriadas a capacidade da cultura. Os negativos referem-se aos ambientes desfavoráveis, indicando regiões com condições edáficas e climáticas adversas (Peluzio et al. 2010).

Estudos de adaptabilidade e estabilidade têm sido realizados em várias espécies, como o arroz (Cargnin et al. 2008), algodão (Suinaga et al. 2006) e milho (Costa et al. 1999). As informações obtidas nestes estudos classificaram as variedades quanto à adaptabilidade e estabilidade, identificando as mais apropriadas para determinada condição ambiental ou região. Pacheco et al. (1999) demonstrou também a associação entre adaptabilidade e estabilidade e a metodologia de análise dialélica, que foi realizada para desenvolver estudos de herança de adaptabilidade e estabilidade de produção, sendo utilizado em um conjunto de híbridos de milho.

Para a estabilidade da simbiose, a avaliação de Eberhart and Russel (1966) pode ser entendida pela interação variedade x isolado, em que há possibilidades de uma estirpe ser superior em uma determinada variedade, mas não ser em outra, e vice-versa. Alguns trabalhos mostram outros usos da técnica, como a interação tratamento x corte com forrageiras, em que se utiliza a análise de regressão da produção contra um índice de crescimento relacionado à colheita (Lira et al. 1994); análise de estabilidade da produção de forragem empregando nitrogênio percentual das folhas e produção de matéria seca de N-total das cultivares de capim-elefante (Xavier et al. 1998).

### 3. Referências

Ageitec. **Agência Embrapa de Informação Tecnológicas** (2011)  
([http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01\\_72\\_510200683537.html#](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01_72_510200683537.html#))

Ahamad F, Ahamad I and Kham MS (2008) Screening of free-living rhizosferic bacteria for their multiple plant growth promoting activities. **Microbiological Research** **163**: 173-181.

Almeida, IP, Duarte MEM, Rangel ME, Mata MC, Freire RMM and Guedes MA (2005) Armazenamento de feijão macassar tratado com mamona: Estudo da prevenção do *Callosobruchus maculatus* e das alterações nutricionais do grão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais** **7**:133-140.

Alves JMA, Araújo NP, Uchôa SCP, Albuquerque JAA, Silva AJ, Rodrigues GS and Silva DCO (2009) Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. **Revista Agroambiente On-line** **3**: 15-30.

Andrade Júnior AS, Santos AA, Sobrinho CA, Bastos EA, Melo FB, Viana FMP, Freire Filho FR, Silva JC, Rocha MM, Cardoso MJ, Silva PHS and Ribeiro VQ. (2002) **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 108 p.

APG III An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III (2009) **Botanical Journal of the Linnean Society** **16**:105-121.



Azevedo WR, Faquin V, Moreira FMS, Oliveira Júnior AC and Lisboa CC (2002) Efeito do boro na nodulação da ervilha cultivada em solos de várzea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **37**: 1137-1143.

Bottomley, P (1991) Ecology of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, In: Stacey G, Burris RH. (Ed.) **Biological nitrogen fixation**. New York: Chapman & Hall, p. 292-347.

Brito MMP, Muraoka T and Silva EC (2011) Contribuição da fixação biológica do nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia** **70**: 206-215.

Bulgarelli D, Schlaeppi K, Spaepen S, Themaat EVL and Schulze-Lefert P (2013) Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology** **64**: 807-838.

Cargnin A, Souza MA, Pimentel AJB and Fogaça CM (2008) Interação genótipos e ambientes e implicações na adaptabilidade e estabilidade de arroz sequeiro. **Revista Brasileira de Agrociência** **14**: 49-57.

Chagas Junior AF, Rahmeier W, Fidelis RR, Santos GR and Chagas LFB (2010) Eficiência agronômica de estirpes de rizóbios inoculadas em feijão-caupi no Cerrado, Gurupi - TO. **Revista Ciência Agronômica** **41**: 709-714.

Cichelero W, Gotardo V, Mannigel AR and Moreski HM (2012) Produtividade da soja em resposta à adubação por molibdênio em diferentes concentrações. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente** **5**: 239-250.

Correa AM, Ceccon G, Correa CMA and Delben DA (2012) Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfofagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres** **59**: 88-94.

Costa JG, Marinho JTS, Pereira RCA, Ledo FJS and Moraes RNS (1999) Adaptabilidade e estabilidade da produção de cultivares de milho recomendadas para o estado do Acre. **Ciência e Agrotecnologia** **23**: 7-11.

Costa JVT, Lira Junior MA, Ferreira RLC, Stamford NP, Campanharo M and Sousa CA (2007) Relacionamento entre tamanho do nódulo e medições convencionais da inoculação. **Maringá** **29** (1): 47-54.

Crawford NM and Glass ADM (1998) Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trends Plant Science** **3**: 389-395.

Cruz CD and Carneiro PCS (2003) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV 2: 585p.

Cruz CD, Torres RA and Vencovsky R (1989) An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. **Revista Brasileira de Genética** **12**: 567-580.

Dantas JP, Marinho FJL, Ferreira MMM, Amorim MSN, Andrade SIO and Sales AL (2002) Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** **6**: 425–430.

Eberhart SA and Russell WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science** **6**: 36-40.

Fagan EB, Medeiros SLP, Manfron PA, Casaroli D, Simons J, Neto DD, Jong Van Ller Q, Santos OS and Müller L (2007) Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja. **Revista da FZVA 14**: 89-106.

FAO. Faostat. Crops. Cowpeas, dry. Available at <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Accessed on October 24, 2014.

Figueiredo MVB, Junior MAL, Araújo, ASF and Martinez CF (2008) **Fatores bióticos e abióticos à fixação biológica de N<sub>2</sub>** Available at <http://www.bashanfoundation.org/marcia/marciafactores.pdf>. Accessed on April 3, 2013.

Finlay KW and Wilkinson GN (1963) The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research 14**: 742-754.

Fornara DA. Symbiotic nitrogen fixation and the delivery of multiple ecosystem services: a global change perspective (2011) **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 6**:1-8.

Franco AA and CAMPELLO EFC (2005) Manejo nutricional integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade dos sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramenta para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 202-220.

Franco MC, Cassini STA, Oliveira VR, Vieira C and Tasi SM (2002) Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e mesoamericano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 37**: 1145-1150.

Freire Filho FR (2011) **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1ª edição. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 84p. Available at <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/916831/1/feijaocaupi.pdf>. Accessed on July 2, 2014.

Freire Filho FR, Lima JAA and Ribeiro VQ (2005) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 519p.

Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Cardoso MJ, Azevedo JN, Ramos SRR, Rocha MM and Silva KJD (2011) **Coleção ativa de germoplasma de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e de outras espécies do gênero *Vigna***. Teresina: Embrapa Meio-Norte (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 209).

Gauch HG (1988) Model selection and validation for yield trials with interaction. **Biometrics** 44: 705-715.

Graham PH and Vance CP (2003) Legumes: importance and constraints to greater use. **Plant Physiology** 131: 872-877.

Hornetz B, Shisanya CA and Gitonga NM (2001) Crop water relationships and thermal adaptation of kathika beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and green grams (*Vigna radiata* L. Wilczek) with special reference to temporal patterns of potential growth in the drylands of SE Kenya. **Journal of Arid Environments** 48: 591–601.

Hungria M, Neves MCP and Victoria RL (1985) Assimilação do nitrogênio pelo feijoeiro; II. Absorção e translocação do N mineral e do N<sub>2</sub> fixado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 9: 202-209.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** (2009). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Available at: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa). Accessed on: December 2, 2014.

Jemo M, Abaidoo RC, Nolte C and Horst WJ (2006) Genotypic variation for phosphorus uptake and dinitrogen fixation in cowpea on low-phosphorus soils of southern Cameroon. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** **169**: 816-825.

Júnior PIF and Reis VM (2008) Algumas limitações á fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 252).

Kahindi JHP, Woomer P, George T, Moreira FMS, Karanja NK and Giller KE (1997) Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropics: The role of nitrogen-fixing bacteria. **Applied Soil Ecology** **6**: 55-76.

Krasova-Wade T, Ndoye I, Braconnier S, Sarr B, Lajudie P and Neyra M. Diversity of indigenous bradyrhizobia associated with three cowpea cultivars (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grow under limited and favorable water conditions in Senegal (West Africa) (2003). **African Journal of Biotechnology** **2**: 13-22.

Lieven-Antoniou, CA and Whittam, TS (1997) Specificity in the symbiotic association of *Lotus corniculatus* and *Rhizobium loti* from natural populations. **Molecular Ecology** **6**: 629-639.

Lima AS, Pereira JPAR and Moreira FMS (2005) Diversidade fenotípica e eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. de solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **40**: 1095-1104.

Lin CS and Binns M.R (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science** **68**: 193-198.

Lira MA, Farias I, Fernandes APM, Soares LM and Junior JCBD (1994) Estabilidade de resposta do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*, Stapf.) sob níveis crescentes de nitrogênio e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **29 (7)**: 1151-1157.

Lorenzatto R, Nozaki MH, Daga J and Mancini M (2013) Efeito do *Azospirillum* spp. em associação com diferentes doses de adubação mineral na cultura do trigo. **Varia Scientia Agrárias** **17**: 27-35.

Madigan MT, Martinko JM and Parker J (2004) São Paulo - Prentice Hall. **Microbiologia de Brock** **10**: 608 p.

Mandal J, Chattopahyday A, Hazra P, Dasgupta T and Som MG (1999) Genetic variability for three biological nitrogen fixation components in cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) cultivars. **Crop Research** **18**: 222-225.

Marin VA, Baldani VLD, Teixeira K and Baldani J (1999) **Fixação biológica de nitrogênio: bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia (Documentos, 91).

Marsaro Júnior AL and Vilarinho AA (2011) Resistência de cultivares de feijão-caupi ao ataque de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) em

condições de armazenamento. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais 9**: 51-55.

Martínez-Romero E, Segovia E, Mercante FM, Franco AA, Graham PH and Pardo MA (1991) *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology 41**: 417-426.

Martins LMV, Xavier GR, Rangel FW, Ribeiro JRA, Neves MCP, Morgado LB and Rumjanek NG (2003) Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils 38**: 333–339.

Mathesius U (2003) Conservation and divergence of signalling pathways between roots and soil microbes – the *Rhizobium*-legume symbiosis compared to the development of lateral roots, mycorrhizal interactions and nematode-induced galls. **Plant and Soil 255**: 105-119.

Mathis R, Gijsegem FV, Rycke R, D'haeze W, Maelsaeke EV, Anthonio E, Montagu MV, Holsters M and Vereecke D (2005) Lipopolysaccharides as a communication signal for progression of legume endosymbiosis. **Proceedings of the National Academy of Sciences 102**: 2655-2660.

Medeiros EV, Martins CM, Lima JAM, Fernandes YTD, Oliveira VR and Borges WL (2009) Diversidade morfológica de rizóbios isolados de caupi cultivado em solos do estado do rio grande do norte. **Acta Scientiarum Agronomy 31**: 529-535.

Mercante, FM, GOI SR and FRANCO AA (2002) Importância dos compostos fenólicos nas interações entre espécies leguminosas e rizóbio. **Revista Universidade Rural 22**: 65-81.

Moreira FMS, Silva K, Nóbrega RSA and Carvalho F (2010) Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae 1**: 74-99.

Mothapo N, Grossman JM and Maul J (2013) Genetic diversity of resident soil rhizobia isolated from nodules of distinct hairy vetch genotypes. **Applied Soil Ecology 64**: 201-213.

Mun JH, Kim DJ, Choi HK, Gish J, Debellé F, Mudge J and Cook DR (2006) Distribution of microsatellites in the genome of *Medicago truncatula*: a resource of genetic markers that integrate genetic and physical maps. **Genetics 172**: 2541-2555.

Oliveira AP, Araújo JS, Alves EU, Noronha MAS, Cassimiro CM and Mendonça FG (2001) Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira 19**: 81-84.

Pacheco CAP, Cruz CD and Santos MX (1999) Association between Griffing's diallel and the adaptability and stability of Eberhart and Russel. **Genetics and Molecular Biology 22 (3)**: 451-456.

Peluzio MJ, Afféri FS, Monteiro FJF, Melo AV and Pimenta RS (2010) Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica 41**.

Pereira AA, Campo RJ, Franchini JC, Torres E and Humgria M (2006) **Efeito de diferentes manejos de solo e de culturas na diversidade genética de rizóbios microssimbiontes de soja**. Jornada acadêmica da Embrapa Soja, p. 11-16. Documentos, 268. Available at <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/83171/1/ID-26389.pdf>. Accessed on December 1, 2014.



Polizel AC, Juliatti FC, Hamawaki OT, Hamawaki RL and Guimarães SL (2013) Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. **Bioscience Journal** **29**: 910-920.

Ribeiro ND, Jost E, Possebon SB and Cargnelutti Filho A (2004) Adaptabilidade e estabilidade de cultivares registradas de feijão em diferentes épocas de semeadura para a depressão central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural** **34**.

Rocha MM (2009) O feijão-caupi para consumo na forma de feijão fresco. Available at <http://agrosoft.com/pdf.%20php/?node=212374>. Accessed on January 12, 2015 .

Rossi RL, Silva TRB, Trugilo DP, Reis ACS, Farias CMQ (2012) Adubação foliar com molibdênio na cultura de soja. **Jornal of Agronomic Sciences** **1** (1): 12-23

Rumjanek NG, Martins LMV, Xavier GR and Neves MCP (2005) **Fixação Biológica de Nitrogênio**. In: Freire Filho FR, Lima JAA, Silva PHS and Viana FMP. Feijão caupi: avanços tecnológicos. Embrapa Informação Tecnológica, p. 279-335.

Santos LA and Reis VM (2008) **A formação do nódulo em leguminosas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 14 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 251).

Santos CERS, Stamford NP, Neves MCP, Rumjanek NG, Borges WL, Bezerra RV and Freitas ADS (2007) Diversidade de rizóbios capazes de nodular leguminosas tropicais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** **2**: 249-256.

Schulze J (2004) How are nitrogen fixation rates regulated in legumes? **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** **167**: 125-137.

Silva RTL, Andrade DP, Melo EC, Palheta ECV and Gomes MAF (2011) Inoculação e adubação mineral na cultura de feijão-caupi em latossolos da Amazônia Oriental. **Revista Caatinga 24**: 152-156.

Silva RP, Santos CE, Lira Junior MA and Stamford NP (2008) Efetividade de estirpes selecionadas para feijão caupi em solo da região semi-árida do sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias 3**: 105–110.

Singh RJ, Chung GH and Nelson RL (2007) Landmark research in legumes. **Genome 50**: 525-537.

Souza AA, Burity H, Figueiredo MVB, Silva MLB, Melotto M and Tsai S. M (1999) Eficiência simbiótica de estirpes Hup+, Huphr e Hup de *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii* em cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 34**: 1925-1931.

Stephen CW (2012) Biological nitrogen fixation. Nature Education Knowledge, n. 3, v. 10. Available at <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/biological-nitrogen-fixation-23570419>. Accessed on April 15, 2013.

Stralioatto R and Rumjanek NG (1999) **Biodiversidade do rizóbio que nodula o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e os principais fatores que afetam a simbiose**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 51p. (Documentos, 94).

Suinaga FA, Bastos CS and Rangel LEP (2006) Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de algodoeiro no estado do Mato Grosso, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 3.

Taíz L and Zieger E (2004) Fisiologia vegetal. 3 ed., Porto Alegre: Artemed, p.719.

Teixeira KRS, Marvin VA, Baldani JI (1998) Nitrogenase: Bioquímica do processo de FBN. **Seropédica - Embrapa Agrobiologia**: 25p. (Documento, 84).

Teófilo EM, Mamede FBF and Sombra NS (1999) Hibridação natural em feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. - Fabaceae). **Ciência e Agrotecnologia** **23**: 1010-1011.

Tran PLS and Nguyen HT (2009) Future biotechnology of legumes. In: EMERICH, D. W.; KRISHNAN, H. D. Nitrogen fixation in crop production, **Soil Science Society of America**: 265-308.

Vargas MAT and Hungria M (1997) **Biologia dos solos dos cerrado**. Planaltina: EMBRAPACAPAC, 524p.

Verma MM, Chahal GS and Murty BR (1978) Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics** **53**: 89-91.

Vieira CL, Freitas AD, Silva AF, Sampaio EV and Araújo MS (2010) Inoculação de variedades locais de feijão macassar com estirpes selecionadas de rizóbio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** **14**: 1170-1175.

Wricke G (1965) Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung** **52**: 127-138.

Xavier DF, Botrel MDA, Verneque RDS, Freitas VDP and Boddey RM (1998). Estabilidade da produção de forragem de cultivares de capim-elefante em solo com baixa disponibilidade de nitrogênio. **Pasturas Tropicais** **20 (2)**: 35-40.

Xavier GR, Martins LMV, Ribeiro JRA and Rumjanek NG (2006) Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga 19**: 25-33.

Zahran HH (1999) Rhizobium-*legume* symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. **Microbiology and Molecular Biology Reviews 63**: 968–989.

Zobel RW, Madison JW and Gauch HG (1988) Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal 80**: 388-393.

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA  
Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

## CAPÍTULO II

---

### EFICIÊNCIA E ESTABILIDADE SIMBIÓTICA EM VARIEDADES DE CAUPI

## RESUMO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] pode ser cultivado em condições adversas de clima e solo é capaz de nodular e fixar nitrogênio com uma ampla faixa de rizóbios. O levantamento contínuo de bactérias é importante visando a seleção de associações mais eficientes e adaptáveis, e a melhor avaliação da estabilidade simbiótica poderá contribuir para a recomendação de estirpes. Assim, foram avaliadas a compatibilidade simbiótica e a eficiência de isolados obtidos a partir de solos da região semiárida de Pernambuco e da estirpe recomendada BR 3262, e sua estabilidade simbiótica nas variedades BR 17-Gurguéia, IPA 206 e BRS Novaera selecionadas para diferentes regiões do Brasil. Um experimento foi conduzido em casa de vegetação com as três variedades de caupi e 25 isolados, tratamentos sem inoculação com e sem N e inoculação com a estirpe referência BR 3262. A colheita foi aos 45 dias após a inoculação, determinando matéria seca da parte aérea, raiz e nódulos, número de nódulos, matéria seca de nódulos por número de nódulos, N acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos, teor de N na parte aérea, acúmulo de N na parte aérea, eficiência relativa com base no acúmulo de nitrogênio, eficiência relativa à estirpe recomendada baseada na matéria seca da parte aérea. As plantas de todos os tratamentos inoculados nodularam. Para matéria seca dos nódulos, 16 isolados não diferiram de BR 3262. Para a matéria seca de nódulos por número de nódulos, 20 isolados não diferiram da BR 3262, e 18 isolados não diferiram para nitrogênio acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos. Os tratamentos G1.2 e G7.102 se destacaram para teor e acúmulo de nitrogênio na parte aérea. O tratamento com N esteve entre as menores médias para teor de N na parte aérea e eficiência relativa do acúmulo de N em comparação com os tratamentos inoculados. As estirpes com melhor estabilidade e adaptabilidade a variedades com alto potencial para fixação biológica de nitrogênio são G7.85 e BR 3262.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata* L., fixação biológica de nitrogênio, compatibilidade.

## ABSTRACT

Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] may be cultivated under adverse soil and climate conditions, and may nodulate and fix nitrogen with a wide range of rhizobia. A continual search for new bacterial strains is important to select more efficient and adaptable associations, and a better evaluation of symbiotic stability may contribute to strain recommendation. The symbiotic compatibility and efficiency of strains isolated from soils of the semiarid region of Pernambuco, and the recommended strain BR 3262, and their symbiotic stability with BR 17-Gurguéia, IPA 206 and BRS Novaera cultivars, recommended for different regions of Brazil, were estimated. A greenhouse experiment was conducted with these cultivars, 25 isolates, the recommended strain and uninoculated treatments with and without N. Harvest was 45 days after inoculation and dry matter of shoots, roots and nodules, nodule number, dry weight of nodules by number of nodules, N accumulated in shoot dry matter by nodules, N content in the shoot N accumulation in the shoots on efficiency based on the accumulation of nitrogen on the recommended efficiency strain based on dry matter of shoots were determined. The plants of all inoculated treatments nodulated. Sixteen isolates did not differ from BR 3262 for nodules dry matter. For nodules dry weight by number of nodules, 20 isolates did not differ from BR 3262, and 18 isolates were similar to nitrogen accumulated in the shoot dry matter by nodule dry matter. The G1.2 and G7.102 treatments stood out for content and nitrogen accumulation in the shoot. The nitrogen supplied was among the lowest average for N content in shoot and relative efficiency of N accumulation compared to the inoculated treatments. The strains with improved stability and adaptability to cultivar with high potential for biological nitrogen fixation are G7.85 and BR 3262.

**Key words:** *Vigna unguiculata* L., biological fixation nitrogen, compatibility.

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-de-corda, feijão macassar ou feijão fradinho (Correa et al. 2012) é uma leguminosa cultivada nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, e no Brasil principalmente nas regiões Nordeste, Norte e com recente expansão no Centro-Oeste (Correa et al. 2012, Silva et al. 2013).

Essa espécie é de grande interesse agrônomo em condições edafoclimáticas adversas, devido à sua rusticidade, apresentando tolerância à seca e altas temperaturas, bem como o estabelecimento da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Tagliaferre et al. 2013, Silva et al. 2013, Bejarano et al. 2014).

A fixação biológica do nitrogênio permite um melhor desenvolvimento vegetativo e produtivo do caupi, contribuindo para redução do uso de fertilizantes nitrogenados em diferentes regiões de cultivo (Nascimento et al. 2010, Zilli et al. 2011, Chagas Júnior et al. 2010). A eficiência de fixação biológica depende principalmente da compatibilidade mútua dos parceiros simbióticos, sendo influenciada por fatores abióticos e bióticos (Binjola et al. 2013).

A obtenção contínua de novas estirpes rizobianas em culturas como o feijão-caupi é necessária para selecionar associações mais eficientes e adaptáveis a situações amplas ou específicas para recomendar para fins biotecnológicos e ampliar a contribuição da FBN nos sistemas agrícolas (Martins et al. 2003, Chagas Júnior et al. 2010).

A FBN é bastante variável dependendo da variedade e tem sido observado grande potencial para aumento da contribuição desta, por meio do melhoramento genético (Alcantara et al. 2014). Esta variabilidade permite estudos de microbiologia para encontrar, avaliar e identificar estirpes com maior potencial para FBN, assim como outras características úteis, como indicação de estirpes adaptadas a diferentes ambientes. Este potencial vantajoso só pode ser atingido ao continuar a pesquisa e avaliação de diferentes estirpes, resultando em semelhanças entre a busca contínua por novas bactérias e melhoramento genético convencional. Neste caso, é



importante o uso de técnicas de avaliação da estabilidade simbiótica, como o método de Eberhart and Russel (1966).

O presente trabalho objetivou avaliar a compatibilidade simbiótica e a eficiência de isolados obtidos a partir de solos do semiárido pernambucano e da estirpe de *Bradyrhizobium* sp. BR 3262 recomendada para produção de inoculantes, e sua estabilidade simbiótica em três variedades de feijão-caupi cultivadas em diferentes regiões do Brasil.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Em trabalho prévio, Lira (2014) isolou, caracterizou e selecionou 25 isolados rizobianos, a partir de solos da região semiárida de Pernambuco. Os isolados e a estirpe de *Bradyrhizobium* sp. BR 3262 (Zilli et al. 2008) recomendada para produção de inoculante (Brasil 2011) foram cultivados em meio YM líquido (extrato de levedura e manitol) (Vincent 1970), com pH ajustado para 6.8, em erlenmeyers de 125 mL com 25 mL do meio de cultura colocados em agitador rotatório a 150 rpm e submetidos a uma temperatura de 30°C por 72 horas para posterior inoculação. Para avaliar o crescimento da população bacteriana foi utilizado o método da gota. As populações foram de pelo menos  $10^8$  ufc/ml (unidades formadoras de colônias), e foram contadas após a inoculação (Miles and Misra 1938, França et al. 2013).

Foram utilizadas as variedades de feijão-caupi IPA-206, BRS Novaera e BR 17-Gurguéia. A IPA-206 é indicada para o cultivo no Estado de Pernambuco e desenvolvida pelo IPA (Ipa 1989); BRS Novaera, lançada pela Embrapa Meio-Norte e indicada principalmente para o cultivo na região Norte (Vilarinho 2007; Gonçalves 2012); e BR 17-Gurguéia também lançada pela Embrapa Meio-Norte, indicada para o cultivo especialmente no Piauí (Freire Filho 2011).

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, em arranjo fatorial 3 x 28, sendo três variedades de caupi e vinte e cinco isolados de rizóbios nativos do solo da região semiárida e três tratamentos controles, a estirpe recomendada BR 3262 (Zilli et al. 2008), um tratamento sem inoculação e com adubação nitrogenada e outro sem inoculação e sem adubação nitrogenada. Utilizaram-se 4 repetições por tratamento, totalizando 336 unidades experimentais.

Foram utilizados vasos de Leonard modificados (Vincent 1970), em que sacos de polietileno foram preenchidos com mistura de areia lavada e vermiculita (proporção 2:1), ambas previamente autoclavadas. Na base foram utilizadas bandejas de isopor onde se depositava a solução nutritiva (Calheiros et al. 2013).

Antes do plantio, as sementes passaram por desinfecção, por imersão por 1 minuto em álcool etílico a 70%, em seguida, por 2 minutos em hipoclorito de sódio a 1%, e, por último, foram realizadas lavagens sucessivas com água destilada até não se sentir mais o odor do hipoclorito de sódio. A semeadura foi realizada utilizando-se duas sementes por vaso, com posterior desbaste após emergência, mantendo-se uma planta por vaso, recebendo solução nutritiva de Hoagland sem nitrogênio, que foi autoclavada por 1 hora, à pressão de 1 atm a 120° C (Hoagland and Arnon 1950). A solução nos sacos foi completada periodicamente com água destilada, para que as plantas não sofressem deficiência hídrica.

Para os vasos que receberam a adubação nitrogenada foi aplicado o equivalente a 90 kg. ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia, parcelada em três doses iguais, com a primeira fornecida aos sete dias após a germinação, e as doses seguintes aplicadas em intervalos de quinze dias. Para o tratamento sem adubação foi adicionada solução nutritiva de Hoagland isenta de N (Hoagland and Arnon 1950).

Para a inoculação, foram utilizados os 25 isolados selecionados por Lira (2014) e a estirpe BR 3262 (Zilli et al. 2008). Após sete dias da germinação, as plântulas foram inoculadas com 1 ml / plântula com o caldo bacteriano da crescendo em meio YM líquido (Vincent 1970).

As plantas foram colhidas aos 45 dias após a inoculação. As raízes coletadas de cada vaso foram separadas da parte aérea e lavadas em água corrente. Os nódulos foram destacados das raízes e contados. A parte aérea, raízes e nódulos (quando ocorreram) de cada planta, foram acondicionados separadamente em sacos de papel, identificados e levados para secagem em estufa com circulação de ar, a 65°C até massa seca constante. Após a estabilização do peso, a matéria seca dos nódulos (MSN), do sistema radicular (MSSR) e parte aérea (MSPA) foram determinadas.

Em seguida, a parte aérea foi moída para a determinação do teor de nitrogênio. O teor de N (TNPA) foi quantificado pelo método semimicro Kjeldhal. O N acumulado

na parte aérea (ANPA) foi calculado multiplicando-se as respectivas massas secas pelos teores de N (Tedesco et al. 1995, Bezerra Neto and Barreto 2004).

Foram avaliados a matéria seca de nódulos por número de nódulos (MSNN), nitrogênio acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos (ANPAMSN), eficiência relativa à recomenda baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN) e a eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR). A MSNN é a massa seca de nódulos, ou seja, a soma de todos os nódulos. Por exemplo, pode-se ter 100 mg de MSN em um nódulo ou em 100 nódulos, contudo um nódulo de 100 mg será mais eficiente do que 100 nódulos de 1 mg. A ANPAMSN é a razão entre o nitrogênio total da planta e a massa de nódulos, ou seja, aproximadamente quando de N foi fixado por cada mg de nódulo. Foram calculadas as seguintes expressões:

$$MSNN = \left( \frac{MSN}{NN} \right)$$

$$ANPAMSN = \left( \frac{ANPA}{MSN} \right)$$

$$ERR = \left( \frac{MSPA \text{ inoculada}}{MSPA \text{ BR 3262}} \right)$$

$$ERRN = \left( \frac{ANPA \text{ inoculada}}{ANPA \text{ BR 3262}} \right)$$

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o SAS (Sas Institute, 1999). As médias foram comparadas pelo teste de Dunnet a 5%, adotando o tratamento estirpe recomendada BR 3262 como controle para o efeito principal de estirpes, enquanto as interações foram avaliadas pelo teste de Tukey ao mesmo nível de significância.

A análise de adaptabilidade e estabilidade, de acordo com Eberhart and Russell (1966), foi realizada quando houve interação entre variedade e estirpe, desconsiderando os tratamentos não inoculados, e considerando estirpes como ambientes para variedades e vice-versa. A metodologia se baseia no modelo de regressão linear  $Y_{ij} = \mu_i + \beta_i l_j + \delta_{ij}$ , em que:

$Y_{ij}$  - média do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\mu_i$  - média do genótipo  $i$  em todos os ambientes;

$\beta_i$  - coeficiente de regressão linear da resposta do genótipo  $i$  a todos os ambientes;

$I_j$  - índice ambiental;

$\delta_{ij}$  - desvio de regressão do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, com relação à matéria seca do sistema radicular (MSSR), 15 isolados proporcionaram matéria seca da raiz de feijão-caupi, semelhante ao da estirpe recomendada. Os isolados G7.14, G7.99 e G7.68 obtiveram médias iguais em relação a BR 3262 (Tabela 1). Semelhantemente, Chagas Júnior et al. (2010) constataram para experimento em campo em Tocantins, em que foram avaliadas três variedades de feijão-caupi, que para a variedade Novaera, a estirpe BR 3262 se mostrou superior aos controles sem inoculação com e sem N quanto à MSSR. Por outro lado, a estirpe recomendada também obteve maior média em relação aos demais tratamentos inoculados.

Avaliando-se a matéria seca dos nódulos (MSN), 16 isolados foram semelhantes à estirpe recomendada, com maiores valores médios observados na estirpe BR 3262 e nos isolados G7.32, G7.77, G7.109, G7.14, G7.68 e G1.2. No controle sem nitrogênio não foram encontrados nódulos, indicando que não houve contaminação no experimento (Tabela 1). Diferentemente, resultados obtidos por Melo and Zilli (2009) e Zilli et al. (2008), ao estudar a fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para diferentes condições ambientais em Roraima, revelaram que a BR 3262 proporcionou maior incremento na massa da matéria seca de nódulos, em comparação aos demais tratamentos.

Tabela 1. Valores médios da matéria seca do sistema radicular (MSSR), matéria seca dos nódulos (MSN), número de nódulos (NN), matéria seca de nódulos por número de nódulos (MSNN) e nitrogênio acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos (ANPAMSN) de isolados de rizóbios.

<b>Tratamento</b>	<b>MSSR</b> (g/planta)	<b>MSN</b> (mg/planta)	<b>NN</b>	<b>MSNN</b> (mg/nódulo)	<b>ANPAMSN</b> (mg/planta)
<b>G7.14</b>	0,5a	118,6a	57,9a	1,9a	0,2b
<b>G7.118</b>	0,4a	86,4a	45,8a	1,6a	0,3b
<b>G7.18</b>	0,2b	5,6b	1,9b	0,7a	0,5b
<b>G7.79</b>	0,2b	1,0b	0,6b	0,2b	0,9a
<b>G7.99</b>	0,5a	91,6a	54,5a	1,7a	0,4b
<b>G7.12</b>	0,4a	41,9a	25,2a	1,2a	0,4b
<b>G7.68</b>	0,5a	108,7a	53,5a	2,0a	0,2b
<b>G7.45</b>	0,2b	0,9b	0,4b	0,2b	0,8a
<b>G7.103</b>	0,2b	9,6b	5,6b	0,7a	0,5b
<b>G1.62</b>	0,1b	1,4b	1,1b	0,3b	0,7a
<b>G7.77</b>	0,4a	142,9a	54,5a	2,4a	0,3b
<b>G7.102</b>	0,4a	76,7a	81,8a	1,1a	0,3b
<b>G1.1</b>	0,2b	8,9b	5,5b	0,5a	0,6a
<b>G7.32</b>	0,4a	145,8a	75,0a	1,9a	0,3b
<b>G7.109</b>	0,4a	119,9a	77,9a	1,5a	0,3b
<b>G7.64</b>	0,3a	25,3a	14,4a	1,1a	0,4b
<b>G7.85</b>	0,3a	91,6a	56,7a	1,6a	0,3b
<b>G7.25</b>	0,1b	1,0b	0,6b	0,2b	0,7a
<b>G7.7</b>	0,3a	91,7a	44,6a	1,9a	0,2b
<b>G7.23</b>	0,3a	58,6a	40,5a	1,2a	0,4b
<b>G7.13</b>	0,3a	95,2a	55,9a	1,6a	0,3b
<b>G1.99</b>	0,2b	9,9b	5,6b	0,7a	0,5b
<b>G1.2</b>	0,4a	108,7a	62,5a	1,6a	0,2b
<b>G7.69</b>	0,1b	2,1b	2,2b	0,2a	0,7a
<b>G7.3</b>	0,2b	2,9b	1,6b	0,4b	0,7a
<b>BR3262</b>	0,5a	146,4a	64,2a	2,1a	0,2b
<b>0N.SI</b>	0,1b	0b	0b	0b	-
<b>CN.SI</b>	0,2b	0b	0b	0b	-
<b>CV (%)</b>	16,5	49,3	45,2	36,1	26,3

Na coluna média seguida por mesma letra não diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Dunnett.; CV = Coeficiente de Variância.

Quanto ao número de nódulos (NN), 15 isolados não diferiram da BR 3262, com maiores valores médios para G7. 102, G7.109, G7.32, seguido da estirpe BR 3262 (Tabela 1). Esses resultados concordam com os obtidos por Lira (2014), indicando que estes isolados são pelo menos tão eficientes quanto à estirpe recomendada (Tabela 1). Almeida et al. (2010), observaram resultado diferente para a estirpe BR 3262, que obteve menor número de nódulos em relação aos demais tratamentos inoculados para a variedade BR 17-Gurguéia no Piauí. Pode-se também constatar que mesmo os isolados G7.102, G7.109 e G7.32 que obtiveram maior número de nódulos, apresentaram menor massa seca dos nódulos do que a estirpe recomendada, o que pode indicar que sejam menos eficientes. De acordo com Hansen et al. (1993), para a maior fixação de nitrogênio são necessários muitos nódulos, nódulos grandes e com maior eficiência relativa. Assim, a avaliação do tamanho dos nódulos é importante para uma estimativa da eficiência das bactérias associadas às leguminosas (Atkins 1984).

As plantas de todos os tratamentos inoculados apresentaram nódulos radiculares, mostrando que em termos de capacidade para nodulação, todos os rizóbios estudados foram compatíveis com variedades selecionadas para diferentes ambientes, apesar dos isolados rizobianos serem nativos da região semiárida pernambucana.

Para a matéria seca de nódulos por número de nódulos (MSNN), 20 isolados não diferem da BR 3262, sendo observados maiores valores médios para G7.77 (2,4 mg/nódulo), a estirpe BR 3262 (2,1 mg/nódulo), seguido do isolado G7.68 (2,0 mg/nódulo) (Tabela 1).

Para o nitrogênio acumulado na parte aérea pela matéria seca de nódulos (ANPAMSN) 18 isolados não diferiram da estirpe referência (Tabela 1). Foi evidenciado que nódulos maiores tendem a ser mais eficientes na fixação de N, enquanto que nódulos menores são menos eficientes ou ineficientes (Döbereiner et al. 1966, Xavier et al. 2007).

A massa seca de nódulo e o número de nódulos são variáveis importantes na avaliação da eficiência simbiótica de estirpes de rizóbios (Campo and Hungria 2007). A estirpe recomendada BR 3262 apresentou bom desempenho para as variáveis, justificando a sua utilização em teste de eficiência agrônômica em diversas condições edafoclimáticas (Zilli et al. 2011, Costa et al. 2011, Saboya et al. 2013).

Para os resultados relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), a variedade BR 17-Gurguéia apresentou 17 tratamentos que não diferiram do tratamento BR 3262. Para variedade IPA-206 foram observados 16 tratamentos que não diferiram da recomendada. Na variedade BRS Novaera, 15 tratamentos não diferiram da BR 3262 (Tabela 2). Resultados diferentes foram obtidos em experimentos de campo no Maranhão e Roraima, em que a estirpe BR 3262 foi a que permitiu maior MSPA (Gualter et al. 2011, Zilli et al. 2011). O mesmo resultado favorável foi encontrado por Zilli et al. (2006), observando que o acúmulo de MSPA pela estirpe foi superior ao dos quatro diferentes tratamentos com inoculação, além do tratamento nitrogenado.

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA  
 Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

Tabela 2. Valores médios da matéria seca da parte aérea (MSPA) de isolados de rizóbios inoculados nas variedades BR 17-Gurguéia, IPA-206 e BRS Novaera de feijão-caupi.

Tratamento	MSPA (g/plana)		
	BR 17-Gurguéia	IPA-206	BRS Novaera
G7.14	4,34aA	4,64aA	4,59aA
G7.118	3,96aA	5,35aA	3,44abA
G7.18	0,79cdeA	0,22eA	0,89cdA
G7.79	0,48eA	0,54deA	0,73cdA
G7.99	3,79abA	3,89abA	4,28abA
G7.12	3,48abcA	3,15abcA	1,97abcdA
G7.68	3,38abcA	4,03aA	4,25abA
G7.45	0,27eA	0,42eA	0,70dA
G7.103	2,05abcdeA	0,79cdeA	1,89abcdA
G1.62	0,45eA	0,38eA	1,20bcdA
G7.77	4,01aA	4,03aA	3,90abA
G7.102	3,83abA	4,11aA	4,38abA
G1.1	1,67abcdeA	0,96bcdeA	0,73cdA
G7.32	4,17aA	2,90abcA	4,13abA
G7.109	4,06aA	4,69aA	3,38abcA
G7.64	3,09abcdA	2,75abcdA	1,02bcdA
G7.85	4,25aA	3,67abA	2,14abcdA
G7.25	0,28eA	0,43eA	0,65dA
G7.7	3,20abcdA	3,68abA	3,31abcA
G7.23	3,85abA	3,83abA	3,29abcA
G7.13	3,27abcdA	3,66abA	2,71abcdA
G1.99	0,72deA	2,50abcdA	1,06bcdA
G1.2	3,47abcA	4,30aA	4,24abA
G7.69	0,83bcdeA	0,57deA	0,90cdA
G7.3	0,40eA	0,76cdeA	0,88cdA
BR3262	4,21aA	3,65abA	4,62aA
0N.SI	0,25eA	0,30eA	1,02bcdA
CN.SI	0,38eA	0,65cdeA	1,60abcdA

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna entre os isolados, e maiúscula na linha para as variedades não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



Com relação ao teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA), a variedade BR 17-Gurguéia apresentou 25 tratamentos que não diferiram de BR 3262. Para a variedade IPA-206, 23 tratamentos não diferiram da estirpe BR 3262. Para a variedade BRS Novaera, 25 tratamentos inoculados com isolados não diferiram do tratamento com BR 3262 (Tabela 3). Para a variável TNPA todos os tratamentos inoculados, exceto G7.45 na variedade IPA-206, apresentaram teores acima dos valores indicados como adequados para a cultura, entre 1,8 a 2,2% (Malavolta et al. 1997), indicando que a FBN foi suficientemente eficiente.

Para acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA), a variedade BR 17-Gurguéia, apresentou a estirpe referência BR 3262 com maior valor absoluto, mas 17 tratamentos não diferiram do tratamento BR 3262. Para variedade IPA-206, 15 tratamentos não diferiram do tratamento BR 3262. Na variedade BRS Novaera foram observados 23 tratamentos inoculados que não diferem de BR 3262 (Tabela 3). Quanto ao acúmulo de nitrogênio por planta, os valores obtidos dos isolados superaram os valores obtidos com as testemunhas sem inoculação com e sem nitrogênio, confirmando que a FBN é uma fonte alternativa de nitrogênio que pode suprir as plantas de feijão-caupi em quantidade condizente com sua necessidade (Martins et al. 2003, Morgado et al. 2006).

A estirpe BR 3262 esteve entre as melhores médias dos tratamentos e foi superior às testemunhas 0N.SI e CN.SI, confirmando resultados de outros trabalhos em que já foi testada e apresentou bom desempenho, tanto de eficiência quanto competitividade, especialmente em experimentos de casa de vegetação (Zilli et al. 2004, Zilli et al. 2006). De acordo com esses resultados pode-se dizer que as variedades de feijão-caupi avaliadas, responderam de forma diferenciada à inoculação com estirpes de rizóbios, e apresentaram diferentes potenciais na FBN, como ocorreu em outros trabalhos (Xavier et al. 2006, Belane and Dakora 2009, Vieira et al. 2010).

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA  
 Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

Tabela 3. Valores médios do teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA) e acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) de isolados de rizóbios inoculados nas variedades BR 17- Gurguéia, IPA-206 e BRS Novaera de feijão-caupi.

Tratamento	TNPA (%)			ANPA (mg/planta)		
	BR 17-Gurguéia	IPA-206	BRS Novaera	BR 17-Gurguéia	IPA-206	BRS Novaera
G7.14	3,66abcA	3,09abA	3,02abA	107,56aA	99,89bA	97,85abA
G7.118	3,91abA	3,55abA	4,10aA	105,54aA	83,45bcA	100,93abA
G7.18	2,57abcA	3,09abA	4,31aA	14,40bcdA	11,67defA	26,03abcA
G7.79	2,65abcA	2,23bA	3,71abA	9,38dA	8,12efA	18,83bcA
G7.99	3,25abcA	3,60abA	3,65abA	85,68abA	97,99bA	71,33abcA
G7.12	3,88abA	3,60abA	3,40abA	95,61abA	79,41bcdA	44,88abcA
G7.68	4,12aA	3,48abA	3,11abA	96,14aA	98,36bA	90,07abcA
G7.45	3,01abcA	1,71bA	3,70abA	5,72dA	6,96fA	17,78bcA
G7.103	3,64abcA	3,00abA	3,47abA	52,18abcdA	16,33cdefA	46,13abcA
G1.62	3,07abcA	2,85abA	4,24aA	9,70cdA	7,59efA	34,66abcA
G7.77	2,82abcA	3,60abA	3,39abA	78,62abcA	101,39abA	91,84abcA
G7.102	4,16aA	3,10abA	3,86aA	109,81aA	88,46bA	117,96aA
G1.1	3,73abA	3,60abA	4,18aA	43,78abcdA	23,58cdefA	19,84abcA
G7.32	3,98aA	3,26abA	3,83aA	114,64aA	64,00bcdefA	109,64aA
G7.109	4,11aA	2,87abA	3,03abA	114,60aA	92,90bA	73,92abcA
G7.64	4,10aA	2,56abA	3,29abA	87,41abA	45,08cdefA	23,34abcA
G7.85	4,04aA	3,43abA	3,17abA	118,35aA	87,26bcA	48,26abcA
G7.25	3,73abA	3,43abA	3,32abA	7,36dA	10,50efA	15,04cA
G7.7	4,14aA	2,76abA	3,61abA	91,05abA	72,85bcdeA	83,12abcA
G7.23	3,98aA	2,95abA	3,82aA	69,70abcdA	79,98bcdA	87,35abcA
G7.13	3,76abA	3,47abA	3,12abA	85,62abcA	88,76bA	59,66abcA
G1.99	2,88abcA	3,66abA	3,70abA	14,62bcdA	63,78bcdefA	26,03abcA
G1.2	4,26aA	3,88abA	4,00aA	100,41aA	114,41aA	117,19aA
G7.69	2,58abcA	4,91aA	3,51abA	15,51bcdA	14,65cdefA	21,62abcA
G7.3	3,18abcA	3,60abA	4,02aA	8,87dA	18,66bA	24,51abcA
BR3262	4,15aA	3,06abA	3,41abA	118,59aA	77,89bcdA	111,40aA
ON.SI	1,19bc	1,45bA	1,37bA	2,18dA	2,86fA	10,50cA
CN.SI	1,59cA	1,83bA	2,97abA	4,32dA	8,90efA	33,57abcA

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna entre os isolados, e maiúscula na linha para as variedades não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 4, são observados resultados referentes à eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN). Para a variedade BR 17-Gurguéia, foram observados 17 tratamentos que não diferem de BR 3262. Na variedade IPA-206, 17 tratamentos não diferem do tratamento com a estirpe referência. Para a variedade BRS Novaera, 25 tratamentos inoculados não diferiram de BR 3262. Os resultados da ERRN, de maneira geral, apresentaram para as três variedades que o nitrogênio proveniente da simbiose foi suficiente para suprir as necessidades da planta durante o seu desenvolvimento. Quanto maior a eficiência do isolado, maior a quantidade de nitrogênio presente na planta (Vieira et al., 2010).

Para eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR), a variedade BR 17-Gurguéia apresentou 17 tratamentos que não diferiram de BR 3262. Para a variedade IPA-206, 16 tratamentos não diferiram do tratamento com a estirpe recomendada. Enquanto que para a variedade BRS Novaera, 18 tratamentos com inoculação não diferiram de BR 3262 (Tabela 4). Resultado semelhante foi constatado em experimento de eficiência simbiótica em Tocantins com o cultivo de três variedades de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Pujante e Vinagre), entre as estirpes testadas a BR 3262 apresentou um dos melhores desempenhos, com eficiência relativa para a variedade BRS Novaera próxima a 100%, para a variedade BRS Pujante com valor próximo a 80%, e para a variedade Vinagre, um valor próximo a 140% (Chagas Júnior et al. 2010).

A maior parte dos isolados apresentaram grande eficiência na fixação de nitrogênio, similar à observada para a estirpe BR 3262, indicando a existência de rizóbios eficientes em plantas de feijão-caupi. Esses resultados comprovam a resposta positiva das variedades à estirpe e aos isolados, evidenciando eficiência na capacidade de assimilação do nitrogênio atmosférico. Os isolados que apresentaram baixa eficiência são aqueles menos eficientes (Chagas Júnior et al. 2010, Nascimento et al. 2010).

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA  
 Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

Tabela 4. Valores médios da eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN) e eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR) de isolados de rizóbios inoculados nas variedades BR 17-Gurguéia, IPA-206 e BRS Novaera de feijão-caupi.

Tratamento	ERRN			ERR		
	BR 17-Gurguéia	IPA-206	BRS Novaera	BR 17-Gurguéia	IPA-206	BRS Novaera
G7.14	55,81aA	80,19aA	51,15abA	100,80aA	128,68aA	93,48aA
G7.118	54,76aA	66,99abcA	52,88abA	91,00aA	149,65aA	42,13abcA
G7.18	7,47cdefA	9,36cA	13,61abcA	17,08bcdA	4,44eA	16,61bcA
G7.79	4,87efA	6,52cA	9,84abcA	9,17cdA	11,75deA	12,12cA
G7.99	44,46abcdA	78,66aA	37,29abcA	87,22abA	105,91abA	57,86abcA
G7.12	49,72abA	63,75abcA	23,46abcA	78,55abA	86,06abcdA	40,00abcA
G7.68	49,88abA	78,96aA	47,09abA	76,74abA	109,75aA	86,03abA
G7.45	2,97fA	5,59cA	9,30abcA	4,62dA	8,91eA	11,63cA
G7.103	27,08abcdeA	13,11cA	24,12abcA	44,68abcdA	20,77cdeA	37,95abcA
G1.62	5,03dcefA	6,10cA	18,12abcA	8,25cdA	8,20eA	21,27abcA
G7.77	40,79abcde	81,39aA	48,01abA	92,59aA	110,13aA	80,38abA
G7.102	56,98aA	71,02abA	61,61aA	88,15abA	112,66aA	88,76abA
G1.1	22,71abcdeA	18,93abcA	10,37abcA	35,44abcdA	24,35bcdeA	12,30bcA
G7.32	59,48aA	51,38abcA	57,32abA	96,69aA	77,12abcdA	83,77abA
G7.109	59,46aA	74,58abA	38,64abcA	93,53aA	130,16aA	68,47abcA
G7.64	45,35abcA	36,19abcA	12,20abcA	69,00abcA	75,89abcdA	17,76bcA
G7.85	61,41aA	70,05abA	25,23abcA	99,39aA	99,85abA	41,11abcA
G7.25	3,82efA	8,43cA	7,86bcA	5,00dA	9,44eA	10,63cA
G7.7	47,24abcA	58,48abcA	43,45abA	72,80abA	100,89abA	65,03abcA
G7.23	36,17abcdeA	64,20abcA	45,66abA	60,40abcA	103,51abA	64,47abcA
G7.13	44,43abcdA	71,25abA	31,19abcA	74,32abA	98,74abcA	53,32abcA
G1.99	7,59cdefA	52,10abcA	13,61abcA	14,69bcdA	67,95abcdeA	20,14abcA
G1.2	52,10aA	91,84aA	61,26abA	78,49abA	118,44aA	86,34abA
G7.69	8,05bcdefa	11,76cA	11,30abcA	16,64bcdA	12,90deA	15,82bcA
G7.3	4,60efA	14,98bcA	12,81abcA	7,07cdA	17,72deA	15,41bcA
BR3262	61,53aA	62,53abcA	58,24abA	97,99aA	98,77abcA	95,36aA
0N.SI	1,13fA	2,30cA	5,49cA	4,28dA	6,25eA	18,18bcA
CN.SI	2,24fA	7,14cA	17,55abcA	6,78cdA	14,57deA	29,38abcA

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna entre os isolados, e maiúscula na linha para as variedades não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De maneira geral, o tratamento com N e sem inoculação estive entre as menores médias para TNPA e ERRN em comparação com os tratamentos inoculados. Semelhantemente, Melo and Zilli (2009) observaram em trabalho em casa de vegetação com 5 variedades de caupi, que para a variável N total, os tratamentos inoculados apresentaram valores maiores, seguidos do tratamento com N e sem inoculação e do tratamento sem N e sem inoculação, confirmando a alta eficiência das estirpes em fixar o nitrogênio. Da mesma forma, Rufini et al. (2014) constataram em trabalho com estirpes de *Bradyrhizobium* em simbiose com guandu-anão em casa de vegetação e no campo, que os tratamentos que receberam inoculação foram superiores às testemunhas quanto ao teor de N na parte aérea. Também já foram relatados tratamentos inoculados com valores acima do tratamento adubado com N, por Zilli et al. (2006) para ANPA, e MSPA por Nascimento et al. (2010).

O tratamento sem N e sem inoculação apresentou os menores valores médios, assim como em outros trabalhos, demonstrando que as plantas inoculadas com estirpes eficientes, seguido do tratamento nitrogenado e sem inoculação é superior ao das plantas sem inoculação e tem origem na fixação biológica de nitrogênio (Fernandes et al. 2003, Santos et al. 2005, Soares et al. 2006, Brito et al. 2009).

Para as variáveis MSPA, TNPA, ANPA, ERRN e ERR são apresentadas as estimativas de adaptabilidade e estabilidade das variedades BR 17-Gurguéia, IPA-206 e BRS Novaera nos diferentes tratamentos de inoculação, considerados como ambientes. Na tabela 5, foi constatado para a matéria seca da parte aérea da planta (MSPA) que as variedades IPA-206 e BRS Novaera apresentaram maiores médias que a geral, e apenas a BRS Novaera apresentou coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ) maior que um ( $\beta_{1i} > 1$ ), indicando adaptabilidade a ambientes favoráveis, ou seja, quanto maior eficiência do isolado, maior incremento da matéria seca da parte aérea. Enquanto que apenas a variedade BR 17-Gurguéia apresentou estabilidade ( $\sigma^2_{di} = 0$ ).

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade da matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA), acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA), eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN) e eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR) de três variedades de feijão-caupi nos diferentes tratamentos de inoculação, considerados como ambientes, segundo a metodologia de Eberhart and Russel (1966).

Variedades	Média	MSPA	
		$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$
BR 17-Gurguéia	2,37	-0,94*	0,00*
IPA-206	7,63	-0,72*	0,50 <sup>ns</sup>
BRS Novaera	6,29	0,34*	0,71 <sup>ns</sup>
Média geral	3,10		
Variedades	Média	TNPA	
		$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$
BR 17-Gurguéia	2,22	-0,99*	0,02*
IPA-206	7,64	-1,00*	0,22*
BRS Novaera	6,89	-0,88*	0,21*
Média geral	3,48		
Variedades	Média	ANPA	
		$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$
BR 17-Gurguéia	109,22	0,00*	0,00*
IPA-206	109,22	0,00*	0,00*
BRS Novaera	109,22	0,00*	0,00*
Média geral	109,22		
Variedades	Média	ERRN	
		$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$
BR 17-Gurguéia	51,26	-0,37*	0,11 <sup>ns</sup>
IPA-206	86,31	0,36 <sup>ns</sup>	2,73*
BRS Novaera	54,91	-11,64*	4,73*
Média geral	63,44		
Variedades	Média	ERR	
		$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$
BR 17-Gurguéia	54,48	0,05*	0,19 <sup>ns</sup>
IPA-206	79,51	0,64*	3,01 <sup>ns</sup>
BRS Novaera	53,87	-10,32 <sup>ns</sup>	4,88*
Média geral	61,86		

ns - não significativo. \* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t para  $\beta_{1i}$  (adaptabilidade), e pelo teste F para  $\sigma^2_{di}$  (estabilidade).

De acordo com o teor de nitrogênio na parte aérea da planta (TNPA), foram observadas maiores médias que a geral para as variedades IPA-206 e BRS Novaera, e em todas as variedades foram observadas adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e baixa estabilidade ( $\sigma^2_{di} \neq 0$ ), com BRS Novaera próxima à estabilidade (Tabela 5). Com relação ao acúmulo de nitrogênio na parte aérea da planta (ANPA), todas as variedades mantiveram a média igual à geral, se apresentando adaptadas a ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i} < 1$ ) e com estabilidade. Foi observado para a variável eficiência relativa com base no acúmulo de nitrogênio (ERRN), que apenas a variedade IPA-206 apresentou coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ) maior que um ( $\beta_{1i} > 1$ ) e média maior que a geral, indicando adaptabilidade a ambientes favoráveis, com baixa estabilidade (Tabela 5). Assim, quanto maior a eficiência do isolado, mais esta variedade responderá (Caierão et al. 2006). Para eficiência relativa à estirpe recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR), a variedade IPA-206 também apresentou a maior média e adaptabilidade a ambientes favoráveis, ou seja, isolados com baixa eficiência simbiótica, além de baixa estabilidade. Todas as variedades apresentaram baixa estabilidade ( $\sigma^2_{di} \neq 0$ ), exceto para ANPA, e a variedade BR 17-Gurguéia para MSPA (Tabela 5).

De acordo com a metodologia de Eberhart and Russell (1966), o genótipo ideal é aquele que apresenta maior média geral, resposta positiva à melhoria das condições ambientais ( $\beta_{1i} > 1$ ) e comportamento previsível ( $\sigma^2_d = 0$ ). Conforme a MSPA, a BRS Novaera tem destaque, uma vez que apresentou maior média e se mostrou adaptada a ambientes favoráveis. Porém sua desvantagem é de não ter estabilidade. Para ANPA, todas as variedades possuem médias iguais a geral e se destacam por serem estáveis, mas são adaptadas a ambientes desfavoráveis, logo não se pode esperar respostas positivas destas variedades à inoculação com estirpes mais eficientes. Na ERRN e ERR pode ser considerada promissora a variedade IPA-206, com maior média que a geral e adaptabilidade a ambientes favoráveis, não apresentando estabilidade.

Alguns trabalhos observaram grande variabilidade de respostas quanto ao TNPA e ANPA em diferentes variedades de feijão-caupi associadas com estirpes selecionadas. Devido à relação desses fatores com a eficiência da FBN, é recomendada a identificação de associações simbióticas promissoras (Stamford and Neptune 1979, Vieira et al. 2010).

A estimativa de adaptabilidade e estabilidade da MSPA dos 25 isolados e da estirpe recomendada BR 3262, avaliados sobre as três variedades consideradas como ambientes, apresentaram 20 médias superiores à média geral, com adaptabilidade a ambientes desfavoráveis. Os isolados e a BR 3262 estiveram próximos a alta estabilidade (Tabela 6).

Para TNPA, foi observado que todos os isolados e a estirpe BR 3262 apresentaram médias superiores à média geral, exceto G7.45. De maneira geral, os isolados apresentaram adaptabilidade a condições ambientais desfavoráveis e estiveram próximos a estabilidade, ou seja, a variedades com menor potencial para FBN (Tabela 6).

Com relação ao ANPA, os isolados observados mostraram adaptabilidade a ambientes desfavoráveis, exceto G7.12, G7.68, G7.102, G7.32, G7.85, G7.7, G7.13, G7.23, e a estirpe BR 3262, todos com médias acima da média geral. Assim, quanto maior a o potencial para FBN da variedade, mais a estirpe responderá, ou seja, os desempenhos destas estirpes melhoram em resposta a variedades com maior potencial. Todas os isolados mostraram significância dos desvios de regressão ( $\sigma^2_{di} \neq 0$ ), ou seja, baixa estabilidade quanto às respostas às diferentes variedades (Tabela 6). Assim, os isolados responderão positivamente a variedades com maior potencial para FBN.

A estirpe BR 3262 pode ser considerada a melhor estirpe por apresentar maior média entre os rizóbios em relação à média geral, adaptada a ambientes favoráveis e ser próxima a estabilidade. Assim, confirmam-se resultados apresentados em diversos trabalhos realizados em campo com a BR 3262, o que é muito importante para o método de estabilidade, além de apresentar eficiência na FBN na cultura do feijão-caupi (Zilli et al. 2011, Silva et al. 2011, Bastos et al. 2012).



AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA  
 Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

Tabela 6. Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA) e acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) dos diferentes tratamentos de inoculação sobre as três variedades consideradas como ambientes, segundo a metodologia de Eberhart and Russel (1966).

Isolados	MSPA			TNPA			ANPA		
	Média	$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$	Média	$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$	Média	$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$
G7.14	5,88	-1,04*	0,07*	3,92	-0,93*	0,04*	168,34	-0,77*	0,63 <sup>ns</sup>
G7.118	4,80	-1,06*	0,08*	4,46	-0,95*	0,04*	167,39	-1,64*	1,16 <sup>ns</sup>
G7.18	1,40	-0,92*	0,06*	3,98	-1,10*	0,05*	43,11	-0,57*	0,57 <sup>ns</sup>
G7.79	1,44	-0,99*	0,01*	3,55	-0,99*	0,06*	26,60	-0,82*	0,13*
G7.99	4,92	-1,03*	0,06*	4,14	-1,00*	0,04*	150,11	-1,65*	1,50 <sup>ns</sup>
G7.12	4,96	-0,98*	0,14*	4,25	-0,97*	0,03*	129,84	2,01*	3,05 <sup>ns</sup>
G7.68	5,13	-1,11*	0,06*	4,20	-0,93*	0,03*	156,54	0,25*	0,67 <sup>ns</sup>
G7.45	1,31	-1,01*	0,01*	3,26	-0,94*	0,07*	23,74	-0,88*	0,14*
G7.103	2,81	-0,96*	0,10*	4,02	-0,97*	0,04*	75,86	-1,78*	1,59 <sup>ns</sup>
G1.62	1,54	-1,01*	0,03*	4,04	-1,02*	0,06*	34,29	-0,78*	0,33*
G7.77	5,36	-1,04*	0,09*	3,93	-1,03*	0,04*	155,81	-2,00*	1,38 <sup>ns</sup>
G7.102	5,10	-1,07*	0,06*	4,33	-0,95*	0,03*	171,97	0,72*	0,55 <sup>ns</sup>
G1.1	2,09	-0,97*	0,05*	4,45	-1,03*	0,06*	55,25	-2,55*	0,54*
G7.32	5,03	-0,92*	0,10*	4,31	-0,97*	0,03*	161,76	0,29*	1,28 <sup>ns</sup>
G7.109	5,39	-1,02*	0,08*	3,99	-0,91*	0,05*	163,22	-0,01*	1,16 <sup>ns</sup>
G7.64	3,41	-0,93*	0,10*	3,97	0,90*	0,05*	90,40	-1,65*	2,55 <sup>ns</sup>
G7.85	4,63	-0,91*	0,11*	4,18	-0,93*	0,04*	150,60	2,64*	1,78 <sup>ns</sup>
G7.25	1,31	-1,01*	0,01*	4,13	-0,93*	0,03*	24,48	-0,86*	0,10*
G7.7	4,63	-1,08*	0,08*	4,14	-0,93*	0,05*	143,06	2,36*	1,64 <sup>ns</sup>
G7.23	5,60	-1,02*	0,08*	4,22	-0,94*	0,03*	141,82	1,98*	1,79 <sup>ns</sup>
G7.13	4,41	-1,04*	0,08*	4,09	-0,97*	0,03*	132,48	1,62*	1,82 <sup>ns</sup>
G1.99	2,62	-1,12*	0,10*	4,06	-1,05*	0,05*	70,05	-0,71*	1,59 <sup>ns</sup>
G1.2	5,30	-1,10*	0,08*	4,64	-0,99*	0,03*	185,96	-0,94*	0,80*
G7.69	1,68	-0,96*	0,03*	3,84	-1,13*	0,05*	35,66	-0,71*	0,25*
G7.3	1,56	-1,04*	0,02*	4,23	-1,06*	0,03*	34,14	-0,95*	0,25*
BR3262	4,90	-0,95*	0,12*	3,54	-0,94*	0,04*	174,91	0,11*	1,13 <sup>ns</sup>
Média geral	3,10			3,48			109,22		

ns - não significativo. \* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t para  $\beta_{1i}$  (adaptabilidade), e pelo teste F para  $\sigma^2_{di}$  (estabilidade).

Para ERN, todos os isolados mostraram baixa estabilidade, e adaptabilidade aos ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i} < 1$ ), exceto para G7.85, que se mostrou acima da média geral (Tabela 7). Assim, G7.85 indica uma adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, respondendo de maneira positiva à medida que ocorre a melhoria do ambiente (Pelúzio et al. 2010).

Na tabela 7, são apresentados os resultados referentes à ERR, sendo observada adaptabilidade a ambientes favoráveis apenas para o isolado G7.85, assim como na ERRN, com média acima da média geral, e baixa estabilidade para todos os isolados e a estirpe recomendada. Os desempenhos destes isolados melhoram em resposta às condições ambientais favoráveis (Pereira et al. 2009).

Pela metodologia de Eberhart and Russel (1966), o isolado G7.85 que apresentou maior média que a média geral em todas as variáveis e coeficiente de regressão estatisticamente maior que um (adaptabilidade a ambientes favoráveis), exceto para MSPA e TNPA, pode ser indicado para as três variedades, desde que com o uso de tecnologia, nos quais as plantas terão condições ótimas para expressar o seu potencial.

AMANDA CORDEIRO DE MELO SOUZA

Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

Tabela 7. Estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade da eficiência relativa à recomendada baseada no acúmulo de nitrogênio (ERRN) e eficiência relativa à recomendada baseada na matéria seca da parte aérea (ERR), dos diferentes tratamentos de inoculação sobre as três variedades consideradas como ambientes, segundo a metodologia de Eberhart and Russel (1966).

Isolados	ERRN			ERR		
	Média	$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$	Média	$\beta_{1i}$	$\sigma^2_{di}$
G7.14	98,18	-1,66 <sup>ns</sup>	0,82*	105,57	-1,16*	0,63 <sup>ns</sup>
G7.118	98,26	-2,27 <sup>ns</sup>	1,31*	90,57	-1,36*	1,44 <sup>ns</sup>
G7.18	24,68	-0,68 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	21,20	-0,54*	0,42 <sup>ns</sup>
G7.79	15,17	-0,85*	0,10*	16,45	-0,85*	0,10*
G7.99	89,34	-2,61*	1,46 <sup>ns</sup>	85,67	-0,72*	1,13 <sup>ns</sup>
G7.12	78,77	-0,99 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>	73,65	-0,39*	2,38 <sup>ns</sup>
G7.68	92,21	-1,30 <sup>ns</sup>	1,05*	90,16	-1,30*	0,77 <sup>ns</sup>
G7.45	13,69	-0,91*	0,12*	13,76	-0,93*	0,08*
G7.103	41,25	-1,46 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	42,53	-1,15*	1,19 <sup>ns</sup>
G1.62	18,98	-0,86*	0,26 <sup>ns</sup>	17,86	-0,84*	0,19*
G7.77	92,93	-2,91*	1,46 <sup>ns</sup>	94,93	-0,66*	0,88 <sup>ns</sup>
G7.102	98,90	-0,53 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	95,55	-0,96*	0,74 <sup>ns</sup>
G1.1	31,85	-2,07*	0,57*	30,07	-1,76*	0,51*
G7.32	89,12	-0,47*	1,00 <sup>ns</sup>	86,80	-0,37*	1,09 <sup>ns</sup>
G7.109	95,76	-1,15 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	97,01	-1,45*	0,90 <sup>ns</sup>
G7.64	52,62	-1,13*	2,04 <sup>ns</sup>	58,39	-0,66*	2,35 <sup>ns</sup>
G7.85	88,97	0,35*	2,03 <sup>ns</sup>	82,00	1,15*	1,50 <sup>ns</sup>
G7.25	14,52	-0,89 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	13,88	-0,91*	0,09*
G7.7	82,23	-0,35*	1,73 <sup>ns</sup>	81,19	-0,99*	1,40 <sup>ns</sup>
G7.23	82,01	-0,83 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	79,42	-0,69*	1,49 <sup>ns</sup>
G7.13	78,99	-1,42 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	77,06	-0,84*	1,43 <sup>ns</sup>
G1.99	46,38	-2,03*	2,24 <sup>ns</sup>	42,20	-1,46*	1,69 <sup>ns</sup>
G1.2	109,23	-1,77*	0,89 <sup>ns</sup>	93,91	-1,93*	0,87*
G7.69	20,92	-0,78*	0,28*	21,05	-0,68*	0,22*
G7.3	20,31	-1,01*	0,24*	18,87	-1,02*	0,19*
BR3262	96,39	-0,75 <sup>ns</sup>	0,82*	96,65	-1,25*	0,81 <sup>ns</sup>
Média geral	63,44			61,86		

ns - não significativo. \* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t para  $\beta_{1i}$  (adaptabilidade), e pelo teste F para  $\sigma^2_{di}$  (estabilidade).

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Todos os isolados rizobianos obtidos do semiárido pernambucano foram compatíveis com variedades selecionadas para diferentes ambientes.

Os isolados de rizóbios nativos do solo da região semiárida de Pernambuco permitiram desenvolvimento do feijão-caupi equivalente ao das plantas inoculadas com a estirpe recomendada.

A análise de adaptabilidade e estabilidade é uma ferramenta importante para compreender a interação entre variedade e estirpe, sendo útil para recomendações futuras de estirpes.

## AGRADECIMENTOS

À FACEPE, pela concessão da bolsa de mestrado; ao CNPq e CAPES pelo financiamento; ao IPA, pela doação das sementes das variedades de feijão-caupi IPA-206, BRS Novaera e BR 17-Gurguéia e pela colaboração nas análises de nitrogênio.

## REFERÊNCIAS

Alcantara RMCM, Xaviera GR, Rumjanek NG, Rocha MM, Carvalho JS (2014) Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica 45: 1-9.**

Almeida ALG, Alcântara RMCM, Nóbrega RSA, Nóbrega JCA, Leite LFC and Silva JAL (2010) Produtividade do feijão-caupi cv BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.**

Atkins CA (1984) Efficiencies and inefficiencies in the legume *Rhizobium* symbiosis - a review. **Plant and Soil 82: 273-284.**

Bastos VJ, Melo DA, Alves JMA, Uchôa SCP, Silva PMC and Junior DLT (2012) Avaliação da fixação biológica de nitrogênio em feijão-caupi submetido a diferentes manejos da vegetação natural na savana de Roraima. **Revista Agroambiente On-line 6 (2): 133-139.**

Bejarano A, Ramírez-Bahena MH, Velázquez E and Peix A (2014). *Vigna unguiculata* is nodulated in Spain by endosymbionts of *Genisteae* legumes and by a new symbiovar (vignae) of the genus *Bradyrhizobium*. **Systematic and applied microbiology 37(7): 533-540.**

Belane AK and Dakora FD (2009) Measurement of N<sub>2</sub> fixation in 30 cowpea (*Vigna unguiculata* L . Walp.) genotypes under field conditions in Ghana , using the 15N natural abundance technique. **Symbiosis 48 (1): 47-56.**

Bezerra Neto and Barreto LP (2004) **Métodos de análises químicas em plantas**. Recife, Imprensa Universitária da UFRPE, 165p.

Binjola SONAM and Kumar NARENDRA (2013). Response of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes to native soil rhizobia for nodulation, yield and soil properties. **The Bioscan 8 (4)** : 1441-1444.

Brasil. SDDA-MDAPEA (2011) **Instrução Normativa Nº 13**, de 24 de março de 2011. Diário Oficial da União - Seção 1. 2011. Imprensa Nacional: Brasília. p.3-7.

Brito MMP, Muraoka T and Silva EC (2009) - Marcha de absorção do azoto do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de <sup>15</sup>N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo 33 (4)**: 895-905.

Caierão E, Silva MS, Scheeren PL, del Duca LDJA., Junior NA and Pires JL. (2006) Análise da adaptabilidade e da estabilidade de genótipos de trigo como ferramenta auxiliar na recomendação de novas cultivares. **Ciência Rural 36 (4)**: 1112-1117.

Calheiros AS, Lira Junior MA, Soares DM and Figueiredo MDVB (2013) Symbiotic capability of calopo rhizobia from an agrisoil with different crops in Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo 37 (4)**: 869-876.

Campo RJ and Hungria M (2007) Protocolo para análise da qualidade e da eficiência agrônômica de inoculantes, estirpes e outras tecnologias relacionadas ao processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas. In: REUNIÃO DA REDE DE LABORATÓRIOS PARA RECOMENDAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE INOCULANTES DE INTERESSE AGRÍCOLA (RELARE), 13., 2006, Londrina. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja: 89-123. (Embrapa Soja. Documentos, 290).

Chagas Junior AF, Rahmeier W, Fidelis RR, Santos GR and Chagas LFB (2010) Eficiência agronômica de estirpes de rizóbios inoculadas em feijão-caupi no Cerrado, Grupeto. **Revista Ciência Agronômica 41**.

Correa AM, Ceccon G, Correa CMA and Delben DS (2012) Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres 59 (1)**: 88-94.

Costa EM, Nóbrega RSA, Martins LV, Amaral FHC and Moreira FMS (2011) Nodulação e produtividade de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. por cepas de rizóbio em Bom Jesus, PI. **Revista Ciência Agronômica 42 (1)**: 1-7.

Döbereiner J, Arruda NB and Penteadó AF (1966) Avaliação da fixação do nitrogênio, em leguminosas, pela regressão do nitrogênio total das plantas sobre o peso dos nódulos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 1**: 233-237.

Eberhart SA and Russell WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science 6**: 36-40.

Fernandes MF, Fernandes RPM and Hungria M (2003) Seleção de rizóbios nativos para guandu, caupi e feijão-de-porco nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 38 (7)**: 835-842.

França CRRS, Lira Junior MA, Figueredo MVB, Stamford NP And Silva GA (2013) Feasibility of rhizobia conservation by liquid conditioners. **Revista Ciência Agronômica 44**: p. 661-668.

Freire Filho, FR (2011) **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1ª edição. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 84p. Available at

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/916831/1/feijaocaupi.pdf>. Accessed on July 2, 2014.

Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Cardoso MJ, Azevedo JN, Ramos SRR, Rocha MM and Silva KJD (2011) **Coleção ativa de germoplasma de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e de outras espécies do gênero *Vigna***. Teresina: Embrapa Meio-Norte (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 209).

Gonçalves JRP (2012) **BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi para o cultivo em várzeas do Amazonas**. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente: 4p. (Embrapa Meio Ambiente: Comunicado Técnico, 51).

Gualter RMR, Boddey RM, Rumjanek NG, Freitas ACR and Xavier GR (2011) Eficiência agronômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia Maranhense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **46** (3): 303-308.

Hansen AP, Yoneyama T, Kouchi H and Hiraoka K (1993) Respiration and nitrogen fixation of hydroponically cultured *Phaseolus vulgaris* L. cv. OAC Rico and a supernodulating mutant. **Planta** **189** (4): 538-545.

Hoagland DR and Arnon DI (1950) **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station: 347p.

Ipa (Recife, PE) (1989) **Caupi-IPA-206: nova cultivar de feijão macassar (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) tipo moita para Pernambuco**. Recife, Pernambuco. Folder.

Lira, TP (2014) **Diversidade e eficiência simbiótica de isolados rizobianos de solos do semiárido brasileiro**. 45p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.



Lira TP, Souza ACM, Kempner T and Lira Junior MA (2014) **Soil and climate effects on cowpea rhizobial diversity in Pernambuco**. 20th World Congress of Soil Science, Jeju, Coréia do Sul. Poster.

Malavolta E, Vitti GC and Oliveira AS (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios, métodos e técnicas de avaliação Pelúziado estado nutricional**.

Martins LMV, Xavier GR., Rangel FW, Ribeiro JRA, Neves MCP, Morgado LB and Rumjanek NG (2003) Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils 38**: 333-339.

Melo SR and Zilli JE (2009) Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 44 (9)**: 1177-1183.

Miles AA and Misra SS (1938) The estimation of the bacterial power of the blood. **Journal of Hygiene 38**: 732-740.

Morgado L, Martins L, Xavier G and Rumjanek N (2006) Avaliação do potencial de estirpes de rizóbio em fixar nitrogênio associadas ao feijão-caupi em Petrolina-PE. In: **Congresso Nacional de Feijão-caupi**.

Nascimento, LRS, Sousa CA, Santos CERS, Freitas ADS, Vieira IMMB and Sampaio EVSB (2010). Eficiência de isolados de rizóbios nativos do agreste paraibano em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) 5 (1)**: 36-42.

Pelúzio JM, Afférrri FS, Monteiro FJF, Melo AV and Pimenta RS (2010) Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica 41 (3)**: 427-434.

Pereira HS, Melo LC, Del Peloso MJ, Faria LC, Costa JGC, Díaz JLC, Rava CA and Wendland A (2009) Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa agropecuária brasileira 44 (4)**: 374-383.

Rufini M, Oliveira DP, Trochmann A, Soares BL, Andrade MJB and Moreira FMS (2014) Estirpes de *Bradyrhizobium* em simbiose com guandu-anão em casa de vegetação e no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, 49 (3)**: 197-206.

Saboya RDCC, Borges PRS, Saboya LMF, Monteiro FPDR, Souza SEA, Santos AF and Santos ER (2013) Resposta do feijão-caupi a estirpes fixadoras de nitrogênio em Gurupitô. **Journal of Biotechnology and Biodiversity 4 (1)**.

Santos CERS, Stamford NP, Freitas ADS, Vieira IMMB, Souto SM, Neves MCP and Rumjanek NG (2005) Efetividade de rizóbios isolados de solos da região nordeste do Brasil na fixação do N<sub>2</sub> em amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Acta Scientiarum 27**: 301-307.

Sas. **SAS System for Windows**. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc (1999).

Silva RTL, Andrade DP, Melo ÉC, Palheta ECV and Gomes MAF (2011) Inoculação e adubação mineral na cultura do feijão-caupi em Latossolos da Amazônia Oriental. **Revista Caatinga 24 (4)**: 152-156.

Silva EF, Júnior APB, Silveira LM, Sousa SFM and Santos MG (2013). Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada-PE. **Revista Caatinga 26 (1)**: 21-26.

Soares ALL, Pereira JPAR, Ferreira PAA, Vale HMM, Lima AS, Andrade MJB and Moreira FMS (2006) Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I – CAUPI. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30: 795-802.

Stamford NP and Neptune AML (1979) Especificidade hospedeira e competição entre estirpes de *Rhizobium* em inoculação cruzada com quatro estirpes de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Revista Ômega** 3 (1/2): 25-34.

Tagliaferre C, Santos TJ, Costa SL, Santos Neto IJ, Rocha FA and Paula A (2013) Características agrônômicas do feijão caupi inoculado em função de lâminas de irrigação e de níveis de nitrogênio. **Revista Ceres**, 60 (2): 242-248.

Tedesco JM, Gianello C, Bissani CA, Bohnen HA and Volkweiss SJ (1995) **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, UFRGS: 174 p.

Vieira CL, Freitas AD, Silva AF, Sampaio EV and Araújo MDS (2010) Inoculação de variedades locais de feijão macassar com estirpes selecionadas de rizóbio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 14 (11): 1170-1175.

Vilarinho, AA (2007) **BRS Novaera – nova cultivar de feijão-caupi para a Região Norte do Brasil**. Available at <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_4/NovaEra/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/NovaEra/index.htm)>. Accessed on December 21, 2014.

Vincent JM (1970) **A Manual for the practical study of root nodule bacteria**. Oxford: Blackwell Scientific.

Xavier GR, Martins LMV, Ribeiro JRA and Rumjanek NG (2006) Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga** 19 (1): 25-33.

Xavier TF, Araujo AD, Santos VD and Campos FL. (2007) Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural** **37** (2): 561-564.

Zilli JE, Silva Neto ML, França Júnior I, Perin L and Melo AR (2011) **Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a soja.** Embrapa Roraima.

Zilli JE, Valisheski RR, Freire Filho FR, Neves MCP and Rumjanek NG (2004) Assessment of cowpea rhizobium diversity in Cerrado areas of Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology** **35**: 281-287.

Zilli JE, Valichski RR, Rumjanek NG, Simões-Araújo JL, Freire Filho FR and Neves MCPN (2006) Caracterização e avaliação da eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* em caupi nos solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **41**: 811-818.

Zilli JÉ, Xavier GR and Rumjanek NG (2008) **BR 3262: nova estirpe de *Bradyrhizobium* para a inoculação de feijão-caupi em Roraima.** Boa Vista: Embrapa Roraima: 7p. (Embrapa Roraima. Comunicado técnico, 10)