



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA / SOLOS E NUTRIÇÃO
DE PLANTAS

ALDÊNIA MENDES MASCENA

DIAGNÓSTICO DA OCORRÊNCIA DE MICRO-ORGANISMOS SIMBIONTES EM
ÁREAS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA,
CEARÁ

FORTALEZA – CEARÁ

2014

ALDÊNIA MENDES MASCENA

DIAGNÓSTICO DA OCORRÊNCIA DE MICRO-ORGANISMOS SIMBIONTES EM
ÁREAS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA,
CEARÁ

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em
Agronomia Solos e Nutrição de Plantas do
Departamento de Ciências do Solo da
Universidade Federal do Ceará, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia Solos e Nutrição de
Plantas. Área de concentração: Microbiologia
do Solo

Orientador: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes
Filho

FORTALEZA-CE

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- M362d Mascena, Aldênia Mendes.
Diagnóstico da ocorrência de micro-organismos simbioss em áreas sob processo de desertificação no município de Irauçuba, Ceará / Aldênia Mendes Mascena. – 2014.
85 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho.
1. Solos. 2. Degradação ambiental. 3. Degradação do solo. 4. Feijão-caupi. I. Título.

CDD 631.4

ALDÊNIA MENDES MASCENA

DIAGNÓSTICO DA OCORRÊNCIA DE MICRO-ORGANISMOS SIMBIONTES EM
ÁREAS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA,
CEARÁ

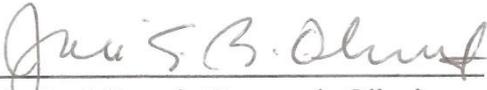
Tese apresentada ao Doutorado em Agronomia
Solos e Nutrição de Plantas do Departamento
de Ciências do Solo da Universidade Federal
do Ceará, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Doutor em Agronomia
Solos e Nutrição de Plantas. Área de
concentração: Microbiologia do Solo

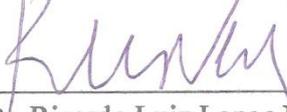
Aprovada em: 22 / 12 / 2014.

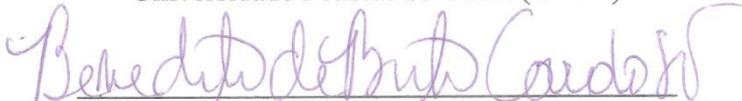
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof.^a Dr.^a Vânia Felipe Freire Gomes
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. José Gerardo Beserra de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Ricardo Luiz Lange Ness
Universidade Federal do Cariri (UFCA)


Prof. Dr. Benedito de Brito Cardoso
Pesquisador

Aos meus pais, Maria Mendes Mascena e Raimundo Mascena de Lima;

Aos meus irmãos Valdenio Mendes Mascena e Valdenia Mendes Mascena;

Ao meu esposo Cicero Lima de Almeida, amigo, companheiro e esposo que sempre esteve ao meu lado nas horas turbulentas incondicionalmente.

A minha filha Sofia Mendes Mascena de Almeida, razão da minha vida e esperança de uma nova geração, te amo filha, tu és um presente de Deus.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, de modo especial ao Departamento de Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso;

A FUNCAP, pela concessão de bolsa de estudo;

Ao Laboratório de Sementes do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará pelo fornecimento das sementes de feijão-caupi;

Ao orientador Paulo Furtado Mendes Filho, pela disponibilidade de orientação e colaboração na realização deste trabalho;

A professora Vânia Felipe Freires Gomes, pela amizade e por disponibilidade em colaborar na realização da pesquisa;

Ao Doutor José Gerardo Beserra de Oliveira pelas sugestões, contribuições e disponibilização das áreas de estudo;

Aos professores das disciplinas cursadas, pelos conhecimentos transmitidos;

Aos laboratoristas Geórgia e Fátima, pela amizade e colaboração nas análises laboratoriais;

Aos amigos Everton, Emanuel, Junior Tupinambá, Mário, Caio, Jackson, Gildeam, Gildivan, Eudes, Narciso, Erivan, Adriana, Eliane, Virginia, Rute e Ítalo pelo agradável convívio e amizade;

Às secretarias da Pós-Graduação e Graduação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (Edílson, Marilene e Andeson) pela atenção e carinho concedido durante o doutorado;

Aos servidores técnico-administrativos da UFC, especialmente do Departamento de Ciências do Solo e da FUCEME (Tavares e Antônio José), pelo convívio e ajuda no laboratório;

A Dona Elena pelo carinho e atenção com todos no laboratório de Microbiologia do Solo;

E finalmente a todos que, direta e indiretamente, contribuíram com o seu apoio indispensável para a realização desta tese;

A Deus, pelas bênçãos derramadas em todos os dias da minha vida;

A contribuição de cada um foi especial e de grande valor para subir mais um degrau na minha vida; Muito Obrigada!

RESUMO

A degradação do solo resultante de práticas não conservacionistas pode acarretar prejuízos irreparáveis às propriedades químicas e biológicas do solo de regiões semiáridas do nordeste brasileiro. O objetivo do trabalho foi avaliar alguns atributos químicos do solo, a densidade populacional de rizóbios nativos, isolar e testar estirpes eficientes na fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico no feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), além de avaliar a densidade de fungos micorrizicos arbusculares e a respiração basal do solo em quatro áreas de exclusão (preservadas desde o ano de 2000) e de superpastejo (pecuária extensiva) localizadas no município de Irauçuba-CE. Foram utilizadas quatro áreas de exclusão de animais e de superpastejo (adjacentes às áreas de exclusão), sendo coletadas amostras de solos na profundidade de 0 a 20 cm para analisar alguns atributos químicos (pH, CE, C, N, MO, e P assimilável) e biológicos do solo (densidade de esporos de fungos micorrizico arbusculares e rizóbios nativos, respiração basal do solo), além do isolamento e teste de eficiência das estirpes nativas em relação a fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Microbiologia do Solo pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará. Para os testes de eficiência da fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico das estirpes nativas isoladas das quatro áreas foi adotado um delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 repetições. Na área 1 foram adotados nove tratamentos e quatro repetições, sendo um controle com adição de nitrogênio mineral (+N-R) e um com omissão de nitrogênio mineral e ausência de inoculação C(-N-R); na área 3 foram adotados oito tratamentos e quatro repetições, sendo um controle com adição de nitrogênio mineral (+N-R) e um com omissão de nitrogênio mineral e ausência de inoculação C(-N-R); na área 4 o teste foi composto de seis tratamentos e quatro repetições, sendo um controle com adição de nitrogênio mineral (+N-R) e um com omissão de nitrogênio mineral e ausência de inoculação C(-N-R); na área 5 o teste foi constituindo de quatro tratamentos e quatro repetições, sendo um controle com adição de nitrogênio mineral (+N-R) e um com omissão de nitrogênio mineral e ausência de inoculação C(-N-R). Os tratamentos diferenciados das quatro áreas foram estabelecidos de acordo com o total de estirpes isoladas e autenticadas de cada área de estudo. As atuais práticas de manejo do solo empregadas nas áreas de exclusão de animais (pousio) favoreceram a presença de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares no solo em decorrência da preservação da vegetação e da conservação da camada superficial do solo. As estirpes de rizóbios nativas

isoladas e testadas das Áreas 1 e 5 estabeleceram simbiose com o feijão-caupi, demonstrado uma eficiência fixadora do N₂ razoável, podendo ser utilizadas em futuros ensaios de competição. Evidencia-se a necessidade de que mais estudos em relação as propriedades químicas e biológicas dos solos de Irauçuba-CE sejam realizadas, para que se possa buscar alternativas para a redução dos efeitos negativos do processo de degradação observados nas áreas em estudo.

Palavras-chave: Solo. Semiárido. Degradação. Estirpes. Feijão-caupi.

ABSTRACT

The soil degradation resulting from non-conservative practices can cause irreparable damage to chemical and biological properties of the soil of semiarid regions in northeastern Brazil. The objective of this research was to evaluate the soil chemical attributes, the population density of rhizobia and its symbiotic fixing efficiency of the atmospheric nitrogen in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in addition to density of arbuscular mycorrhizal fungi and the basal soil respiration in four areas of exclusion and overgrazing located in the municipality of Irauçuba-CE. Four areas of animal exclusion and overgrazing (adjacent to the exclusion areas) were chosen, with soil samples being collected in the 0 to 20 cm to analyze the chemical attributes pH, Electric Conductivity (EC), Carbon (C), Nitrogen (N), Organic Matter (OM), and assimilable Phosphorus (P) and biological attributes (arbuscular mycorrhizal fungi spores density, rhizobia density and effectiveness and basal soil respiration). The experiments were conducted under greenhouse conditions and, for the atmospheric symbiotic nitrogen fixation performance tests, native strains were isolated from the four areas and a completely randomized design, with four replications, was adopted. In area 1 were used nine treatments and four replications, with a control with the addition of mineral nitrogen (+N-R) and another with mineral nitrogen omission and no inoculation C(-N-R); in area 3 were used eight treatments and four replications, with a control with the addition of mineral nitrogen (+N-R) and with mineral nitrogen omission and no inoculation C(-N-R); in area 4 the test consisted of six treatments and four replications, with a control with the addition of mineral nitrogen (+N-R) and with mineral nitrogen omission and no inoculation C(-N-R); in area 5 the test were used four treatments and four replications and a control with the addition of mineral nitrogen (+N-R) and another with mineral nitrogen omission and no inoculation C(-N-R). The different treatment numbers of the four areas were established according to the total number of isolated and authenticated strains of each study area. The current soil management practices employed in the areas of exclusion of animals (fallow) favored the presence of propagules of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil due to the preservation of vegetation and conservation of topsoil. Native rhizobia strains isolated and tested from Areas 1 and 5 established symbiosis with the cowpea and demonstrated a fixing efficiency of N₂ reasonable and can be used in future field trials. More studies on the chemical and biological properties of soils Irauçuba-CE should be performed so that we can find

alternatives for reducing the negative effects of the degradation process observed in the areas under study.

Keywords: Soil. Semiarid. Degraded land. Rhizobia strains. Cowpea. AMF.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Tempo de uso, sistema de produção, localização e vegetação predominante em áreas de exclusão de animais. Irauçuba – CE.	34
Tabela 2 – Classificação do solo nas áreas de exclusão de animais. Irauçuba – CE.	35
Tabela 3 – Características químicas dos solos em áreas de exclusão de animais e de superpastejo. Irauçuba – CE.	37
Tabela 4 – Tratamentos utilizados para experimentos de eficiência fixadora de nitrogênio das estirpes isoladas das áreas em estudo em plantas de feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).....	42
Tabela 5 – Densidade de células viáveis rizobianas em áreas de exclusão de animais e de superpastejo. Irauçuba-CE.	49
Tabela 6 - Número de estirpes rizobianas autenticadas em associação ao feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo. Irauçuba-CE.	52
Tabela 7 - Caracterização morfológica de estirpes autenticadas de rizóbios em associação com feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo. Irauçuba-CE.	56
Tabela 8 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Aroeira, Irauçuba–CE.	58
Tabela 9 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Formigueiro, Irauçuba–CE.....	61
Tabela 10 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de	

áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Cacimba Salgada, Irauçuba-CE.	63
Tabela 11 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Cacimba Salgada, Irauçuba-CE	64
Tabela 12 – Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares por 100 g de solo das áreas de exclusão de animais e superpastejo do município de Irauçuba-CE...	65
Tabela 13 – Médias da produção de C-CO ₂ microbiano em amostras de solo em áreas de exclusão de animais e superpastejo. Irauçuba-CE.....	68

LISTA DE FIGURA

- Figura 1 – Áreas de Exclusão de animais e Superpastejo no município de Irauçuba – CE. 1A e 1B (área de superpastejo no período de estiagem); 1C e 1D (área de exclusão de animais no período chuvoso)..... 33
- Figura 2 – Coleta de solo em áreas de exclusão de animais e superpastejo (adjacentes) na profundidade de 0-20 cm, no município de Irauçuba-CE. 2A (área de exclusão de animais); 2B e 2C (coleta de solo na área de exclusão) e 2D (área de superpastejo). 36
- Figura 3 – Casa de vegetação e Laboratório de microbiologia do solo pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará-UFC..... 37
- Figura 4 – Isolamento de estirpes nativas rizobianas para o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) variedade Sempre Verde CE25 em casa de vegetação-DCS/UFC. ... 39
- Figura 5 – Células rizobianas viáveis na área 1 de exclusão (preservada do ano 2000) no município de Irauçuba-CE, (aumento de 1000 x). 50
- Figura 6 – Plantas de feijão-caupi na autenticação das estirpes nativas selecionadas das áreas de exclusão e superpastejo do município de Irauçuba-CE..... 53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	HIPÓTESES.....	17
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	O semiárido e o uso intensivo do solo pelo superpastejo.....	18
3.2	O município de Irauçuba – CE.....	20
3.3	Caracterização dos solos de Irauçuba-CE.....	22
3.4	Degradação do solo e desertificação no semiárido nordestino	23
3.5	Utilização de leguminosas na recuperação de áreas degradadas	25
3.6	Importância e caracterização do feijão-Caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) ...	27
3.7	Importância da fixação biológica de bitrogênio (FBN)	28
3.8	Importância dos fungos micorrizicos arbusculares (FMA)	30
4	MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1	Caracterização das áreas avaliadas no município de Irauçuba-CE.	32
4.2	Coleta do solo nas áreas de exclusão e superpastejo	35
4.3	Instalação e Condução dos Experimentos	38
4.3.1	<i>Avaliação da densidade de estirpes nativas de rizóbios para feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.....</i>	38
4.3.2	<i>Isolamento e caracterização morfológica de estirpes nativas de rizóbio para feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.....</i>	39
4.3.3	<i>Autenticação das estirpes de rizóbios nativos em feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.</i>	40
4.3.4	<i>Experimento I - Eficiência fixadora de estirpes nativas de rizóbios selecionadas em plantas feijão-caupi em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba - CE.....</i>	41
4.3.5	<i>Estudo da diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.....</i>	43
4.3.6	<i>Respiração Basal do Solo (RBS) nas áreas de exclusões de animais e de superpastejo no município de Irauçuba-CE.....</i>	44

4.4	Análises Estatísticas	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Análises químicas dos solos amostrados nas áreas de exclusões de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.....	46
5.2	Densidade de estirpes nativas de rizóbios para feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.	49
5.3	Isolamento e autenticação de estirpes nativas de rizóbio para feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.....	51
5.4	Caracterização morfológica de estirpes autenticadas de rizóbios em áreas de exclusão e superpastejo do município de Irauçuba-CE.....	54
5.5	Eficiência fixadora de estirpes nativas de rizóbios selecionadas em plantas feijão-caupi em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.	58
5.5.1	<i>Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes de rizóbias isoladas da Área 1 - Fazenda Aroeira - Irauçuba-CE.</i>	<i>58</i>
5.5.2	<i>Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes rizobianas isoladas Área 3 - Fazenda Formigueiro - Irauçuba-CE.</i>	<i>60</i>
5.5.3	<i>Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes rizóbias isoladas da Área 4 - Fazenda Cacimba Salgada - Irauçuba-CE.</i>	<i>62</i>
5.5.4	<i>Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes rizobianas isoladas da Área 5 – Fazenda Cacimba Salgada, Irauçuba-CE.</i>	<i>64</i>
5.6	Estudo da Diversidade de Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMA) em Áreas de Exclusão de Animais e Superpastejo em Irauçuba-CE.	65
5.7	Respirometria Basal do Solo (RBS) nas Áreas de Exclusões de Animais e de Superpastejo, Irauçuba-CE.....	68
6	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÊNDICE A – FOTOS ILUSTRATIVAS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS..	83

1 INTRODUÇÃO

Os pesquisadores na área de microbiologia do solo cada vez mais vêm buscando alternativas para o uso de micro-organismos na produção agrícola e na recuperação de áreas degradadas no mundo inteiro, procurando entender a complexidade e a utilização da associação simbiótica entre plantas e micro-organismos na agricultura.

Dentre as associações biológicas de plantas e micro-organismos, temos duas simbioses de grande valor econômico e ecológico para agricultura: a primeira é a associação leguminosa-rizóbio, já bastante estudada e empregada na agricultura (principalmente no cultivo de soja e na recuperação de áreas sob processo de degradação); a segunda é a associação mutualística entre planta-fungo micorrízico arbuscular (FMA).

Na associação leguminosa-rizóbio, o nitrogênio atmosférico (N_2) é fixado e disponibilizado sob forma de amônio (NH_4^+) para as plantas. Por sua vez, na associação planta-fungo micorrízico arbuscular, há uma maior exploração da rizosfera devido a produção de micélios e hifas desenvolvidas pelos fungos e, por consequência, favorecendo o aumento na absorção de água e nutrientes pelas plantas. O fósforo (P) é o nutriente mais absorvido nesta associação, pois o acréscimo na taxa de absorção do P pelo hospedeiro é atribuído principalmente ao aumento do volume de solo explorado pelas hifas especializadas dos fungos micorrízicos arbusculares.

No Brasil as leguminosas estão entre as plantas mais cultivadas, pois fornecem nutrientes para o consumo humano e animal, é uma fonte de renda para os agricultores, além de serem importantes na reabilitação de áreas degradadas por causa da sua capacidade de estabelecer relações simbióticas com bactérias dos gêneros *Rhizobium/Bradyrhizobium* (capazes de fixar o nitrogênio atmosférico- N_2) e com fungos micorrízicos arbusculares simultaneamente.

Apesar das vantagens decorrentes da relação com esses micro-organismos edáficos, sabe-se que o solo é um ambiente dinâmico e complexo, sendo afetado por práticas agrícolas e fatores ambientais tais como disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura, umidade, uso e manejo do solo entre outros fatores, os quais influenciam no crescimento, desenvolvimento, sobrevivência e atividade metabólica tanto dos micro-organismos como das plantas.

A degradação do solo no município de Irauçuba-CE é ocasionada principalmente pela a ação das atividades pecuaristas, bem como das práticas da agricultura extensiva aliadas

às condições climáticas desfavoráveis (baixa precipitação e altas temperaturas) representando, assim, um conjunto de fatores impactantes no processo de degradação do ambiente no município. As tentativas de reabilitação dos solos degradados nessas áreas têm buscado isolar áreas ao acesso de animais domésticos para avaliar, inicialmente, o processo de regeneração da atividade biológica do solo e da vegetação de forma natural. Entretanto, as informações sobre as bactérias fixadoras de nitrogênio e dos fungos micorrízicos arbusculares são escassas nos solos de Irauçuba-CE, tornando-se difícil a compreensão da importância da riqueza dessas bactérias e fungos para a funcionalidade dos ecossistemas e a reabilitação dessas áreas de forma natural.

Nesse contexto, esta pesquisa teve por objetivo analisar atributos químicos do solo como pH, condutividade elétrica (CE), carbono (C), nitrogênio (N), material orgânico do solo e fósforo assimilável (P). Também foram avaliados atributos biológicos do solo como a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e rizóbios nativos e a respiração basal do solo. Além do isolamento e teste das estirpes nativas quanto a eficiência na fixação biológica do nitrogênio atmosférico em associação simbiótica com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. provenientes das áreas de exclusão e superpastejo em solos da região de Irauçuba-CE.

O feijão-caupi foi selecionado para este estudo por causa da sua rusticidade, valor econômico e capacidade biológica em realizar associação simultânea com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbios, os quais proporcionam uma maior capacidade de adaptação e tolerância das plantas em ambientes críticos, como também o aumento na absorção de fósforo e fixação biológica do nitrogênio atmosférico respectivamente. Portanto, a associação desses micro-organismos simbióticos com essas espécies de leguminosas pode proporcionar uma maior capacidade de estabelecimento, com um melhor aproveitamento dos nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e uma maior contribuição para o aporte de matéria orgânica ao solo dessas áreas localizadas no município de Irauçuba-CE.

2 HIPÓTESES

As atuais práticas de manejo do solo utilizadas no município de Irauçuba-CE podem afetar as populações microbianas simbiotes.

As estirpes rizobianas nativas de solos do município de Irauçuba-CE são eficientes na fixação biológica do nitrogênio em plantas de feijão-caupi.

O superpastejo nas áreas do município de Irauçuba-CE diminuem a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O semiárido e o uso intensivo do solo pelo superpastejo

O semiárido Nordestino corresponde aproximadamente a 1 milhão de km² com uma população de cerca de 20 milhões de habitantes (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005), sendo uma região caracterizada por apresentar altas temperaturas, baixa pluviosidade, solos poucos intemperizados (pouco profundos) e pequena produção de biomassa vegetal em virtude das características da vegetação nativa. Além dessas condições edafoclimáticas peculiares, observa-se a adoção de sistemas agrícolas intensivos, como o desmatamento para implemento de atividades agrosilvopastoris de grandes áreas do bioma caatinga (AGUIAR *et al.*, 2006).

Coelho *et al.* (2014) em seus estudos descrevem que as mudanças no uso e ocupação dos recursos naturais (solo, vegetação e água) provocadas pelas interferências antrópicas têm gerado impactos negativos no ecossistema, pois com o crescimento de áreas exploradas com pastagens a vegetação nativa do semiárido é substituída por uma paisagem devastada, heterogênea e fragmentada, podendo influenciar na disponibilidade e na qualidade dos recursos naturais, além de afetar a biodiversidade das áreas por ocasião da exploração intensa dos recursos.

A degradação destas áreas ocorre principalmente devido ao desmatamento e substituição da vegetação arbustiva e arbórea do bioma caatinga, predominante no semiárido, por pastagens ou culturas (milho, feijão e fava) de ciclo rápido. O cultivo continuado, com a coleta da produção agrícola e sem adição de nutrientes ao solo, leva à perda da fertilidade, que conseqüentemente ocasionará uma queda na produção agrícola. Outro problema constatado é que a retirada da vegetação presente no solo favorece os processos erosivos (desagregação, transporte e deposição) pelos seus principais agentes causadores (água e vento) nessas áreas (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

A degradação das pastagens tornou-se um dos principais sinais da baixa sustentabilidade da pecuária nas diferentes regiões brasileiras, principalmente devido à ausência de um manejo conservacionista da pastagem e do rebanho. Vogel *et al.* (2013) comentam que o sistema extrativista adotado na maioria destas áreas está ocasionando uma má utilização dos recursos naturais (solo, vegetação e água), em que o solo é o mais afetado devido à ausência da cobertura vegetal, reposição de nutrientes e a diminuição da matéria orgânica. Balbino *et al.* (2011); Aidar; Kluthcouski (2003) mencionam que entre os principais

problemas da pecuária brasileira está a degradação das pastagens e do solo, a baixa reposição de nutrientes e os impedimentos físicos do solo, além dos baixos investimentos tecnológicos e o manejo impróprio do rebanho (quantidades excessivas de animais nas áreas). Neste sentido, PROFFITT; JARVIS; BENDOTTI (1995) afirmam que o superpastejo pode ocasionar alterações nas propriedades físicas do solo como, por exemplo, a compactação e a desagregação provocada pelo pisoteio excessivo de animais durante a sua alimentação.

A ação antrópica sobre os ecossistemas do semiárido nordestino se manifesta na exploração de três atividades: agricultura, pecuária e extração de madeira, as quais são exploradas de forma intensa, afetando diretamente os recursos naturais renováveis da caatinga, sendo que na pecuária predomina o superpastejo das áreas por animais de médio e grande porte (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2007).

O superpastejo, ou seja, o número excessivo de animais (bovinos e caprinos) nas áreas em relação à quantidade de forragem existente, prejudica o equilíbrio entre a ciclagem de nutrientes acumulados nos resíduos vegetais e o crescimento das plantas, tendo em vista que os nutrientes da forragem não consumida que permanece na superfície do solo são reaproveitados pelas plantas forrageiras como fonte de nutrientes após a sua senescência e decomposição pelos organismos edáficos.

A degradação dos sistemas de pastejo no semiárido é um dos maiores problemas da pecuária, pois estima-se que grande parte das pastagens cultivadas encontra-se em algum estágio de degradação (BEZERRA *et al.*, 2009) devido ao uso intenso da vegetação e do solo suportando uma carga excessiva de animais na área de pastejo. De acordo com Araújo Filho (2013), a capacidade de suporte para bovinos no bioma caatinga é de 10-12 ha/animal/ano, com a produção anual de 8 kg de peso vivo animal por hectare. Estudos realizados por Rodrigues (2006); Yong-Zhong *et al.* (2005); Araújo Filho (2013) descrevem que as principais causas da vulnerabilidade à desertificação podem ser atribuídas ao superpastejo das áreas, resultante de uma carga excessiva de ovinos e caprinos no sistema.

Araújo Filho (2013) afirma que o regime de criação de bovinos, caprinos e ovinos é predominantemente extensivo, baseado em condições de superpastejo das áreas trabalhadas, sendo que a vegetação nativa do bioma caatinga é muitas vezes a principal fonte de alimento para os rebanhos, gerando um impacto negativo no sistema de criação com a redução da capacidade de suporte do solo.

Os rebanhos de ovinos e caprinos, ao contrário dos bovinos, ao se alimentarem atingem as raízes das plantas impedindo o rebrotamento, a frutificação e a produção de um

banco de sementes no solo para a perpetuação das espécies na área. A longo prazo as consequências desse processo pode levar à “extinção” das gramíneas e destruição da cobertura vegetal e, conseqüentemente, à erosão do solo, lixiviação e a desertificação das áreas (RODRIGUES, 2006), ocasionando impactos negativos no solo e na vegetação.

O município de Irauçuba-CE, inserido na região semiárida e núcleo de desertificação, é cenário desses impactos negativos no solo e na vegetação, pois a pecuária extensiva é praticada predominantemente nessa região, o que ocasiona retirada excessiva da vegetação das áreas pelos animais, uma das principais causas da desertificação no município. A retirada da cobertura do solo para a implantação e estabelecimento de sistemas agrícolas em regiões de clima árido e semiárido, como o município de Irauçuba-CE, leva a uma diminuição no aporte de matéria orgânica depositada no solo pela vegetação e, com isso, ocorrerá uma diminuição dos nutrientes no solo, resultando em diversos impactos negativos (enfraquecimento da vegetação, desagregação e empobrecimento do solo e diminuição da biodiversidade edáfica). De acordo com Bayer; Mielniczuk (2008) o desejável é que o conteúdo de matéria orgânica do solo encontre-se estável sob uma vegetação natural, ou seja, nesse sistema não ocorrerá uma degradação acelerada do conteúdo orgânico do solo pois as condições de revolvimento em sistemas naturais são mínimas, ao contrário do que ocorre nas áreas de superpastejo.

3.2 O município de Irauçuba – CE

O município de Irauçuba-CE possui um território de 1.451 Km², com uma população de 22,3 mil habitantes, está localizado ao Norte do Ceará, com média de precipitação anual de 518 mm e temperaturas médias de 28°C Dias (1998); IBGE (2012). O município caracteriza-se por apresentar um clima Tropical Quente Semiárido e solo geralmente raso e pouco profundo, pobre em nutrientes e com características físicas e morfológicas favoráveis à erosão (IPECE, 2011).

O bioma Caatinga é predominante nesse município (LANDIM; SILVA; ALMEIDA, 2011) sendo formado por uma vegetação arbustiva e espinhenta, na qual a maioria das árvores perde suas folhas nos períodos de estiagem, deixando de proteger o solo dos raios solares e do vento determinando, assim, uma menor proteção ao solo e favorecendo os processos de erosão. As principais atividades econômicas do município de Irauçuba-CE são a pecuária extensiva e a agricultura, que aliadas ao clima semiárido e a ausência de práticas conservacionistas, proporcionam uma menor proteção ao solo e uma perda na diversidade microbiana por causa da redução no seu conteúdo da matéria orgânica. De acordo

com o IBGE (2012), atualmente o rebanho efetivo de gado bovino e ovinocaprino é de 22.588 e 37.887 cabeças, respectivamente, exercendo uma forte pressão de pastejo, pois na maioria das vezes configura-se nessas áreas uma lotação excessiva de animais. Em relação à produção agrícola de grãos o município destaca-se no cultivo de feijão, mamona e milho, sendo as culturas do feijão e milho as mais cultivadas (IBGE, 2012).

O município de Irauçuba-CE foi o primeiro do País a ter seu Plano de Ação Municipal de Combate à Desertificação, apresentado em Junho de 2009. É considerado um dos locais mais degradados do estado do Ceará, caracterizando-se como um núcleo de desertificação. Nessa caracterização foram evidenciados diversos fatores indicativos, como degradação desordenada da vegetação nativa, pastoreio excessivo, empobrecimento da biodiversidade, comprometimento da produtividade do solo, erosão da camada superficial do solo, dentre outros (PAM/IRAUCUBA, 2009).

O núcleo de desertificação de Irauçuba-CE, localiza-se no noroeste do Estado do Ceará abrangendo uma área de 4.000 km² incluindo os municípios de Irauçuba, Forquilha e Sobral (LANDIM; SILVA; ALMEIDA, 2011). Os solos mais degradados compõem-se de extensas áreas de pastagens nativas (gramíneas e herbáceas anuais) que, no período chuvoso, transformam a paisagem em campos extensivos, embora no período de estiagem apresente a maior parte dos solos sem cobertura vegetal (SALES; OLIVEIRA, 2006), período no qual a vegetação perde suas folhas em decorrência a diversos fatores ambientais (baixa precipitação e altas temperaturas) característicos da região.

O município de Irauçuba-CE é indicado como um dos mais importantes núcleos de desertificação, sendo alvo de vários estudos dentre os quais destacam-se Sousa (2009), que estudou a degradação do solo por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação; Cunha Filha (2011), que estudou os efeitos da aplicação de tortas de pinhão manso e mamona no crescimento do feijão-caupi e nas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado, e Almeida; Oliveira; Araújo (2012), que estudaram o impacto das ações de recuperação da degradação sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em Irauçuba-CE.

Alencar; Cruz (2012) relatam em seus estudos que as condições atuais de uso e ocupação do solo do município de Irauçuba-CE têm ocorrido de maneira indiscriminada, produzindo impactos ambientais causadores de diminuição da biodiversidade local, assoreamento dos rios, perdas por erosão das camadas superficiais do solo, compactação do

solo devido ao superpastejo do gado bovino e ovinocaprino, e a eliminação da vegetação presente nas áreas.

O uso indiscriminado dessas áreas ocasiona uma desestruturação do solo, o que leva à alteração das principais propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, principalmente por falta de proteção da camada superficial e consequente perda da biodiversidade. De acordo com Araújo Filho *et al.* (2007), a degradação do solo está geralmente associada a inexistência de práticas conservacionistas na agricultura e à perda da fertilidade e da matéria orgânica do solo, podendo afetar em longo prazo a manutenção da produtividade agropecuária.

Outro aspecto importante a ser ressaltado é que a degradação da vegetação pode proporcionar um desequilíbrio da população microbiana do solo, comprometendo por longo período de tempo todo o ecossistema, o que provavelmente está ocorrendo nessas áreas do município de Irauçuba-CE. Moreira *et al.* (2010) reforçam que a perda da diversidade de espécies de micro-organismos do solo pode alterar a funcionalidade dos ecossistemas e a estrutura populacional de outros organismos situados ao longo da cadeia trófica.

Processos fundamentais envolvendo os ciclos biogeoquímicos como a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes podem sofrer impactos por causa do uso intensivo do solo, impondo aos sistemas agrícolas uma maior dependência ao uso de fertilizantes minerais. Nesse contexto, o conhecimento da biodiversidade das populações microbianas presentes no solo nessas áreas de Irauçuba-CE podem auxiliar na compreensão de como as intervenções antrópicas no ambiente podem estar influenciando na funcionalidade desses micro-organismos no sistema solo. Isso é importante, pois pouco se conhece sobre a diversidade, densidade e funcionalidade das espécies rizobianas e de fungos micorrizicos arbusculares nessas áreas mais críticas do município de Irauçuba-CE, as quais já se caracterizam em processo de degradação.

3.3 Caracterização dos solos de Irauçuba-CE

A geologia dos solos das regiões semiáridas brasileiras é bastante variável, com predomínio de rochas cristalinas, seguidas de áreas sedimentares (SOUZA, 2008). Em decorrência do material de origem, do relevo e das condições climáticas, verifica-se a presença de solos pouco intemperizados (solos jovens), embora no entanto também sejam encontrados solos profundos com alto grau de intemperização, como os da classe dos Latossolos (JACOMINE, 1996; FUNCEME, 2012).

Os solos das regiões de clima semiárido geralmente apresentam uma fertilidade natural elevada e pouca matéria orgânica devido às condições de clima (baixa precipitação pluviométrica e altas temperaturas) da região. Dentre as classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006) destacam-se, nas áreas estudadas, principalmente os Planossolos e os Neossolos.

Os planossolos são solos minerais imperfeitamente drenados que se caracterizam, fundamentalmente, por apresentar um horizonte B plânico subjacente a um horizonte A ou E. O horizonte B plânico é um tipo de horizonte B textural, com mudança abrupta e alta densidade do solo, apresentado cores acinzentadas e/ou bruna em decorrência de drenagem imperfeita (EMBRAPA, 2006).

Quimicamente os Planossolos apresentam argila de atividade elevada, são eutróficos, com elevados valores de soma e saturação de base e, muito comumente, com elevados teores de sódio trocável, tornando-se problemáticos para a produção agrícola. Quanto aos atributos físicos as principais limitações estão relacionadas com o elevado grau de dureza, firmeza, plasticidade e pegajosidade, o que dificulta o manejo. Os Planossolos apresentam alta susceptibilidade aos processos erosivos em virtude da mudança textural abrupta e à deficiência na drenagem.

Os Neossolos são solos jovens e pouco profundos, sem horizonte B diagnóstico definido. São solos em processo de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos ou por características inerentes ao material de origem (EMBRAPA, 2006; Jacomine, 1996). Dessa maneira, a sequência de horizontes nesta classe de solo, ao contrário das outras classes existentes, pode ser A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr e, menos comumente, O-R ou H-C (ROMERO; FERREIRA, 2010).

3.4 Degradação do solo e desertificação no semiárido nordestino

A degradação do solo é definida como o “declínio da qualidade e da produtiva do solo causada pelo mau uso do mesmo pelo homem” (SIQUEIRA *et al.*, 1994). A degradação do solo ocorre quando a vegetação nativa é retirada de forma intensa, a camada superficial é perdida, removida ou enterrada e a qualidade dos recursos hídricos é comprometida por causa das mudanças nos ecossistemas.

O uso intenso do solo, com a ausência de técnicas conservacionistas, influencia diretamente na degradação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Os principais processos de deterioração dessas propriedades estão associados a erosão hídrica e eólica,

perdas da matéria orgânica, o acúmulo excessivo de sais no solo, a lixiviação de nutrientes e o acúmulo de metais tóxicos, além de mudanças na estruturação, porosidade, permeabilidade e densidade do solo (SIQUEIRA; SOARES; SILVA, 2008).

No semiárido nordestino a degradação dos recursos naturais tem sido provocada principalmente pelo uso intenso do solo e redução da cobertura vegetal nativa (MENEZES; SAMPAIO, 2002). A degradação dos solos constitui um dos fatores mais importantes para o desencadeamento do processo de desertificação e a consequente improdutividade dos sistemas agrícolas em regiões de clima áridos e semiáridos. De acordo com Alves; Araújo; Nascimento (2009) no semiárido a maioria das atividades econômicas são acompanhadas de desmatamentos indiscriminados da caatinga que, associados às condições climáticas peculiares naturais desse bioma, acarreta em sérias consequências para o ecossistema comprometendo assim a qualidade ambiental, econômica e social da população.

O processo de degradação ambiental no bioma caatinga deve-se a vários fatores, entre os quais, destacam-se principalmente as práticas agrícolas intensas, o desmatamento, a infertilidade, a compactação, a salinização e a erosão (BRASILEIRO, 2009).

A desertificação é um processo de degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, dentre eles as condições climáticas desfavoráveis e as atividades antrópicas, sendo que por “degradação da terra” se entende a degradação dos solos, da fauna e flora e também dos recursos hídricos, com a consequente redução abrupta da qualidade de vida da população (PAN BRASIL, 2004).

As causas da desertificação estão associadas principalmente à exploração dos recursos naturais (água, solo e vegetação), as práticas indevidas do uso do solo, o superpastejo e o cultivo intenso do sistema edáfico. O aumento da intensidade do uso do solo e a redução da cobertura vegetal têm ocasionado, em especial, os processos erosivos do solo e a redução da sua fertilidade (ARAÚJO; SOUSA, 2011).

Nas regiões de clima semiárido geralmente os solos são muito variados, especialmente em função do material de origem. Nessas regiões os solos são comumente rasos, com baixo grau de intemperismo e pouca matéria orgânica devido principalmente às condições climáticas, caracterizada por um baixo nível de precipitação e elevadas temperaturas (FUCEME, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2009; GIONGO *et al.*, 2011). Essas condições climáticas, aliadas ao uso intenso dos recursos naturais, favorecem a degradação da camada superficial do solo pelos agentes erosivos água e vento, ocasionando os processos de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo nas áreas de relevo rebaixados, ou erosão do solo (BERTONE; NETO LOMBARDI, 2008).

A erosão do solo é uma das causas mais graves da degradação dos solos do semiárido Nordeste, principalmente devido à sua irreversibilidade. Os processos de erosão geram impactos ambientais, econômicos e sociais, pois ocasionam a perda da fertilidade do solo, da produtividade e o assoreamento e poluição dos mananciais (rios, lagos, açudes e represas). A perda da camada superficial e da fertilidade do solo são fatores importantes para o início do processo de desertificação.

Na região Nordeste brasileira estudos têm apontado as áreas afetadas pelos processos de desertificação, sendo a região de Irauçuba-CE indicada como um dos seus principais núcleos (Sampaio *et al.*, 2003). As condições climáticas desfavoráveis da região, acompanhadas da pecuária extensiva da pastagem nativa, são fatores importantíssimos no agravamento dos processos de degradação dos solos de Irauçuba-CE. Sampaio *et al.* (2003) confirmam que a desertificação progride em etapas: i) remoção da cobertura vegetal; II) degradação do solo; III) redução da capacidade produtiva; IV) redução da renda dos agricultores e V) redução da qualidade de vida da população existente nas áreas improdutivas.

3.5 Utilização de leguminosas na recuperação de áreas degradadas

As leguminosas estão entre as plantas mais familiares para as pessoas de diversas partes do mundo, apresentado grande relevância para a caracterização fisionômica dos diversos ambientes do bioma Caatinga. A Família **Leguminosae** é a terceira maior família de plantas, com distribuição cosmopolita que inclui 727 gêneros e 19.327 espécies (LEWIS, 1987).

Em importância econômica é superada apenas pela família das gramíneas (a qual pertencem as culturas do arroz, milho, trigo e outros cereais). Muitas são utilizadas como fonte de alimentos como o feijão, fava, soja, amendoim, ervilhas e grão-de-bico (QUEIROZ, 2009). Outras são utilizadas na arborização de ruas e na revegetação de áreas em processo de degradação, como o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), o tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Moring.) e a jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth.).

A degradação do solo sob exploração agrícola no mundo despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade e a sustentabilidade desse recurso natural e, por isso, busca-se alternativas viáveis e ecológicas para a recuperação dos solos, como a utilização de leguminosas associadas a micro-organismos simbióticos. De acordo com Bertoni; Lombardi Neto (2008) o uso de leguminosas é uma prática recomendada para a recuperação de áreas degradadas, pois as mesmas protegem o solo da ação dos agentes erosivos (água e vento).

Outro benefício a ser considerado é a produção de matéria orgânica (folha, galhos e raízes) rica em nitrogênio que, através de sua incorporação no solo, estimula os processos químicos e biológicos do solo, melhorando a fertilidade e as propriedades físicas.

Outro aspecto importante na utilização de leguminosas na recuperação de áreas degradadas é o fato da existência de um grande número de espécies que ocorrem em várias regiões brasileiras e a relativa facilidade na obtenção de sementes para sua propagação. Entretanto, a principal preferência pelo uso das espécies leguminosas se deve à capacidade de se associarem duplamente com micro-organismos simbióticos do solo, como bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrizos arbusculares (AZEVEDO; RIBEIRO; AZEVEDO, 2007).

Mendes Filho (2004) confirma que as leguminosas em associação com micro-organismos do solo favorecem a utilização desse grupo vegetal na recuperação de áreas degradadas, pois essas associações simbióticas promovem um melhor estabelecimento das leguminosas em solos com baixa fertilidade, uma vez que vai ocorrer um maior aproveitamento dos nutrientes da solução do solo, favorecendo um rápido crescimento e conseqüentemente uma maior produção de biomassa vegetal.

O aumento da produção de biomassa favorece a formação de uma camada de serapilheira na superfície do solo, protegendo-o da ação do vento, água e temperatura. De acordo com Andrade; Carvalho; Coutinho (2003) a quantidade de serapilheira no solo depende fundamentalmente da quantidade de resíduo produzido pelas plantas e da taxa de sua decomposição pelos organismos do solo. De acordo com Silva *et al.* (2013) a introdução das leguminosas gliricídia e sabiá em pastagens melhoram a qualidade da serapilheira disponível no solo, sendo a decomposição dessas leguminosas uma importante via de retorno de nitrogênio para o solo em virtude da fixação biológica de N₂.

Diante de todas essas vantagens é recomendada a utilização de leguminosas (especialmente sabiá, jurema-preta, acácia e feijão caupi) associadas a micro-organismos simbióticos como uma estratégia viável e econômica, pois favorece as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo. Atualmente as leguminosas vêm sendo sistematicamente inseridos em programas de recuperação de áreas degradadas devido ao suprimento e a ciclagem do nitrogênio no sistema solo e planta (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2011).

3.6 Importância e caracterização do feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), feijão-de-corda ou feijão-macassar é uma *Dicotyledonea* pertencente a ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Vigna* (SINGH *et al.*, 1997). É considerada uma leguminosa de origem africana, rica em proteínas e bastante cultivada no Brasil principalmente nas regiões semiáridas, pois apresenta tolerância a altas temperaturas e à seca (CHAGAS JÚNIOR *et al.*, 2010). Apesar da sua importância, as pesquisas com essa cultura ainda são incipientes, sobretudo nos aspectos de fertilidade do solo e nutrição (Santos *et al.*, 2014).

No Brasil o cultivo do feijão-caupi é uma das alternativas para geração de empregos em locais de agricultura familiar, sendo cultivado basicamente em pequenas propriedades das regiões norte e nordeste como atividade de subsistência, embora já esteja sendo explorada em grandes áreas com adoção de tecnologias (BASTOS *et al.*, 2012). O Brasil ocupa a terceira posição na produção do feijão-caupi, perdendo apenas para a Nigéria e Níger, que ocupam o primeiro e segundo lugar como produtores, respectivamente. A área cultivada com feijão-caupi no Brasil é de aproximadamente um milhão de hectares, dos quais cerca de 90 % estão localizados na região Nordeste (BEZERRA *et al.*, 2010a).

O cultivo do feijão-caupi apresenta grande importância na alimentação das populações que vivem nessas regiões, principalmente as mais carentes, pois é um alimento com alto valor nutritivo, sendo um dos principais componentes da dieta alimentar dessas populações, gerando também emprego e renda, tanto na zona rural quanto na zona urbana (LIMA *et al.*, 2007). Além de todos os benefícios citados anteriormente, o feijão-caupi apresenta ainda alta capacidade para realizar associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (FBN), denominadas de rizóbios. Essas bactérias ocorrem em praticamente todos os solos do mundo, se distribuindo deste os ambientes temperados, os tropicais aos semiáridos (MARTINS *et al.*, 2003).

A associação do feijão-caupi com bactérias diazotróficas apresenta grande importância econômica e ecológica, uma vez que esses procaríotos fixam N_2 atmosférico e o disponibiliza para a planta, proporcionando assim um melhor desenvolvimento, um aumento na produtividade e, conseqüentemente, uma diminuição no uso da adubação mineral. Porém é importante ressaltar que o feijão-caupi é considerado promíscuo (SINGLETON *et al.*, 1992), ou seja, ele é capaz de ser nodulado por diferentes estirpes, podendo inclusive formar nódulos ineficientes, dependendo das características genéticas das estirpes envolvidas.

O cultivo do feijão-caupi no Brasil tem se destacado na tecnologia de inoculação pela associação com bactérias simbióticas para a promoção da fixação biológica de N_2 (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2012). No ano de 2006 o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, através da Secretaria de Defesa Agropecuária e sua instrução normativa n° 10, reconheceu a estirpe BR3267 (ou SEMIA 6462) na relação dos micro-organismos autorizados para produção de inoculantes para feijão-caupi no país (RUMJANEK *et al.*, 2006). Atualmente algumas estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium* para o feijão-caupi estão sendo testadas e vêm apresentando resultados promissores, como é o caso das estirpes UFLA03-84, INPA03-11B, BR3262 e BR3267 (SANTOS, 2013).

A busca por tecnologias de inoculação para a cultura do feijão-caupi pode ser justificada pela sua exigência em nitrogênio durante todo o ciclo da cultura, sendo que a época de maior exigência ocorre dos 35 aos 50 dias da emergência da planta, coincidindo com a época do florescimento. Neste período, a planta absorve de 2,0 a 2,5 kg N/ha/dia, sendo considerada uma cultura exigente por nitrogênio (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994).

O benefício decorrente das técnicas de inoculação do feijão-caupi com as bactérias simbiotes é bastante conhecida e estudada por diversos autores (CHAGAS JÚNIOR *et al.*, 2014; ALCÂNTARA *et al.*, 2014), tanto em áreas degradadas como de cultivo, pois é uma alternativa viável para a produção agrícola, principalmente em áreas de baixa fertilidade, já que oferece ao final do ciclo fonológico um aporte de biomassa vegetal com baixa relação C:N, podendo ser usada como fonte de material orgânico para o solo. Entretanto, a inoculação do feijão-caupi com rizóbios selecionados não se constitui numa prática fácil, em virtude da promiscuidade apresentada por essa espécie, pois a mesma é capaz de associar-se a diversas estirpes de bactérias simbióticas simultaneamente, apresentando, na maioria das vezes, ineficiência na fixação biológica do nitrogênio atmosférico.

3.7 Importância da fixação biológica de bitrogênio (FBN)

A fixação biológica de N_2 é um dos processos mais importantes e conhecidos na natureza. Este processo é realizado apenas por micro-organismos procariotos simbiotes (REIS *et al.*, 2006). Embora o nitrogênio molecular (N_2) represente cerca de 80 por cento dos gases da atmosfera, as plantas não têm capacidade de obtê-lo diretamente nessa forma, uma vez que a molécula de N_2 é muito estável quimicamente pela existência de uma tripla ligação entre os átomos de N, o que requer um grande gasto de energia metabólica para quebrá-las, tornando-se assim não utilizável para a maioria dos micro-organismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; DOBEREINER, 1997).

A incorporação de nitrogênio via fixação biológica aos diferentes ecossistemas é bastante elevada, principalmente através da associação das leguminosas e bactérias diazotróficas simbiotes, sendo caracterizado como um processo natural que consiste na transformação do nitrogênio molecular (N_2) a compostos amoniacaís (Equação 1), com elevado gasto de energia (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006)

Os micro-organismos diazotróficos simbiotes apresentam um complexo enzimático bacteriano denominado nitrogenase, que hidrolisa 16 adenosinas trifosfato (ATP) e transfere oito elétrons por molécula de N_2 fixado (Equação 1), sendo um dos processos metabólicos mais caros para a célula (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) Este complexo é formado por duas unidades proteicas (Ferro-proteína - Fe-proteína) e a Molibdênio-Ferro-proteína (MoFe-proteína) que converte nitrogênio atmosférico (N_2) em íons amônio (NH_4^+) nas condições normais de temperatura e pressão encontradas no solo (JOHN; KARL; DEAN, 1995). A equação 1 apresenta a reação da fixação de nitrogênio atmosférico a composto amoniacal catalisado pela enzima nitrogenase (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).



A interação simbiótica entre leguminosas e rizóbios é iniciada através de sinais simbióticos de ambos os lados (YOKOTA; HAYASHI, 2011). A formação dos nódulos é um processo complexo e dinâmico, que ocorre em várias etapas, envolvendo mudanças fisiológicas e morfológicas tanto na célula hospedeira como na bactéria. A planta hospedeira e a bactéria simbiótica desenvolvem mecanismos de comunicação molecular onde a planta libera sinais químicos fazendo com que as bactérias simbiotes do solo sejam atraídas em direção ao sistema radicular, processo denominado de quimiotaxia (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006).

As bactérias aderem aos pêlos radiculares das plantas hospedeiras, em um processo relativamente constante e irreversível, que ocorre em duas etapas: inicialmente, as células isoladas aderem à superfície radicular, provavelmente a sítios específicos e, em seguida, outras bactérias aderem às que já estão presas aos pêlos radiculares (HUNGRIA; STACEY, 1997; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Nesse momento, alguns compostos, em geral, atuam como sinais moleculares e induzem a transcrição de genes de nodulação (*nod*) nas bactérias. De acordo com (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) os passos fundamentais para o processo e o estabelecimento da simbiose leguminosa-bactéria são: pré-infecção

(reconhecimento do simbiote e interação entre a planta hospedeira e a bactéria simbiótica), infecção da planta pela bactéria e funcionamento dos nódulos. Devido a essa capacidade e habilidade de associarem-se com essas bactérias do solo, as leguminosas têm sido bastante utilizadas como adubo verde, assumindo importante papel para o aumento da quantidade e da qualidade da matéria orgânica do solo (LIMA *et al.*, 2012).

Diante dessas habilidades, deve-se ressaltar a importância ecológica da associação leguminosa-rizóbio para o processo de reabilitação de ambientes degradados, pois o nitrogênio fixado que é acumulado nos tecidos vegetais, uma vez incorporado ao solo, pode ser utilizado como fonte alternativa de adubação, disponibilizando nitrogênio durante os processos de decomposição pelos os micro-organismos edáficos. Os benefícios dos processos ecológicos desempenhados por estes micro-organismos simbiotes por meio da fixação biológica de nitrogênio têm contribuído para a diminuição do uso de fertilizantes comercial e uma maior sustentabilidade dos sistemas agrícolas (MARTINS *et al.*, 2003).

No Brasil, a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr. apresenta-se como o maior exemplo da importância benéfica da inclusão biotecnológica da fixação biológica de nitrogênio nas lavouras, nas quais os fertilizantes nitrogenados têm sido substituídos pela inoculação com estirpes selecionadas de rizóbios eficientes (ALCANTARA *et al.*, 2014).

Neste contexto, micro-organismos simbiotes como os rizóbios podem significar uma alternativa complementar ao uso de adubos minerais, pois em áreas com predominância de solos pobres em nitrogênio é necessário aplicar estratégias biotecnológicas capazes de propiciar um melhor aproveitamento da absorção dos nutrientes pelas plantas. De acordo com Freitas *et al.* (2011) geralmente os solos das regiões semiáridas são pobres em nutrientes, principalmente em nitrogênio e a utilização de uma adubação mineral é inviável à maioria dos agricultores familiares, ficando os cultivos na dependência da mineralização da matéria orgânica do solo, a qual torna-se escassa nessas regiões devido a característica da vegetação predominante.

3.8 Importância dos fungos micorrizicos arbusculares (FMA)

Os fungos micorrizicos arbusculares (FMA) formam associações simbióticas mutualísticas entre espécies do filo *Glomeromycota* e a maioria das plantas terrestres (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006). Os fungos micorrizicos arbusculares, sem exceção, são micro-organismos simbiotes obrigatórios, pois eles dependem da simbiose com plantas compatíveis para sua multiplicação no sistema. As micorrizas arbusculares apresentam ampla distribuição geográfica, ocorrendo em regiões polares até os trópicos úmidos ou desertos,

podendo ser encontrada em todas as altitudes e longitudes, caracterizando-se por um caráter cosmopolita (BERBARA *et al.*, 2006).

A associação micorrízica arbuscular com plantas é uma das simbioses mais importantes e abundante na natureza, ocorrendo em cerca de 80 % das plantas existentes, inclusive em inúmeras espécies de grande valor econômico (laranja, citros, banana e feijão-caupi) e ecológico (sabiá, jurema-preta) (MAIA, 2012; SAMPAIO *et al.*, 2012; TAVARES *et al.*, 2012; SIQUEIRA; MOREIRA, 2006), ocorrendo na maioria dos ecossistemas vegetais. De acordo com Siqueira; Moreira (2006) a maioria das angiospermas, pteridófitas e numerosas briófitas formam associação com as micorrizas arbusculares.

A formação e o funcionamento das micorrizas arbusculares dependem de um complexo processo de troca de sinais químicos que resulta em mudanças no metabolismo dos simbiontes e na diferenciação de uma interface simbiótica no interior das células radiculares (KIRIACHEK *et al.*, 2009), não apresentando essa associação alterações morfológicas radiculares.

A associação simbiótica dos fungos micorrízicos arbusculares e plantas se caracteriza pela penetração intercelular e intracelular do fungo no córtex radicular e formação de estruturas intracelulares denominadas arbúsculos e, em alguns grupos taxonômicos, as vesículas, que são hifas com dilatações terminais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O termo arbuscular decorre da formação de arbúsculos (formato de árvore) no interior do córtex radicular, uma estrutura fúngica altamente dicotômica, responsável pelo o sítio de troca entre o fungo e planta, sendo as vesículas estruturas de armazenamento de material de reserva.

Os FMA são elementos importantes dos sistemas vegetais, com grande potencial para a produção agrícola e para reabilitação de áreas em processo de degradação. Esses microorganismos podem favorecer o crescimento e a capacidade reprodutiva das plantas, bem como aumentar a tolerância aos estresses abióticos (hídrico e salino) e bióticos (maior tolerância a doenças). O benefício principal para a planta hospedeira advindo dessa simbiose é o aumento da absorção de nutrientes, especialmente os de baixa mobilidade no solo como o fósforo (P), isto devido ao aumento de sua capacidade em explorar o solo, tanto em área de superfície de contato quanto em volume (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Diante disso os FMA aumentam a absorção de nutrientes pelas plantas, favorecendo a fixação biológica de nitrogênio atmosférico, cujo processo exige quantidade elevada principalmente de fósforo. De acordo com Silveira (1992) leguminosas com dupla simbiose *Rhizobium* e FMA mostram maior

nodulação, aumento da atividade da nitrogenase, maior concentração de leg-hemoglobina e consequentemente maior teor de nitrogênio na biomassa vegetal.

Além de absorver os nutrientes e água da solução do solo, disponibilizando-os para as plantas, os micélios fúngicos participam também de um processo importante na agregação das partículas do solo. Isso ocorre em virtude da formação de uma consolidada rede de hifas fúngicas e na produção de uma glicoproteína (glomalina) capaz de contribuir de forma mais consistente para o processo de agregação do solo e, consequentemente, também à sustentabilidade do ecossistema. A glomalina caracteriza-se por ser uma glicoproteína hidrofóbica, termoestável e recalcitrante, (SOUSA *et al.*, 2011), o que contribui para um aumento da capacidade de agregação das partículas do solo, conferindo uma maior estabilidade dos agregados e do próprio estoque de carbono do solo, melhorando assim as qualidades físicas e químicas edáficas (RILLIG *et al.*, 2001). A estabilidade estrutural dos agregados do solo também é responsável pelo armazenamento de matéria orgânica em formas estáveis. Dessa maneira, atuando no processo de cimentação, a glomalina age como um ligante orgânico que é depositado na superfície dos agregados, criando uma espécie de “selamento”. Assim, a parte interior é protegida por esta proteína hidrofóbica contra a ação da água, a qual atua como desestabilizadora do solo (TRESSEDER; TURNER, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização das áreas avaliadas no município de Irauçuba-CE.

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do projeto “Estudos dos processos de Degradação/Desertificação e suas relações com o uso da terra em Sistemas de Produção no Semi-árido cearense, em uma região identificada como um dos núcleos de Degradação/Desertificação do semi-árido brasileiro”.

Foram utilizadas as áreas de exclusão de animais doméstico, cercadas no primeiro semestre do ano 2000 com nove fios de arame farpado e estaqueadas a cada metro, conforme mostra a Figura 1, para evitar a entrada de animais domésticos (bovino e ovinocaprino), nas quais foram avaliadas em relação à regeneração de forma natural (SOUSA, 2009). São quatro áreas cercadas (exclusão) com 0,25 hectares cada e suas adjacências (superpastejo), as quais permanecem em condições de superpastejo.

Figura 1 – Áreas de Exclusão de animais e Superpastejo no município de Irauçuba – CE. 1A e 1B (área de superpastejo no período de estiagem); 1C e 1D (área de exclusão de animais no período chuvoso).

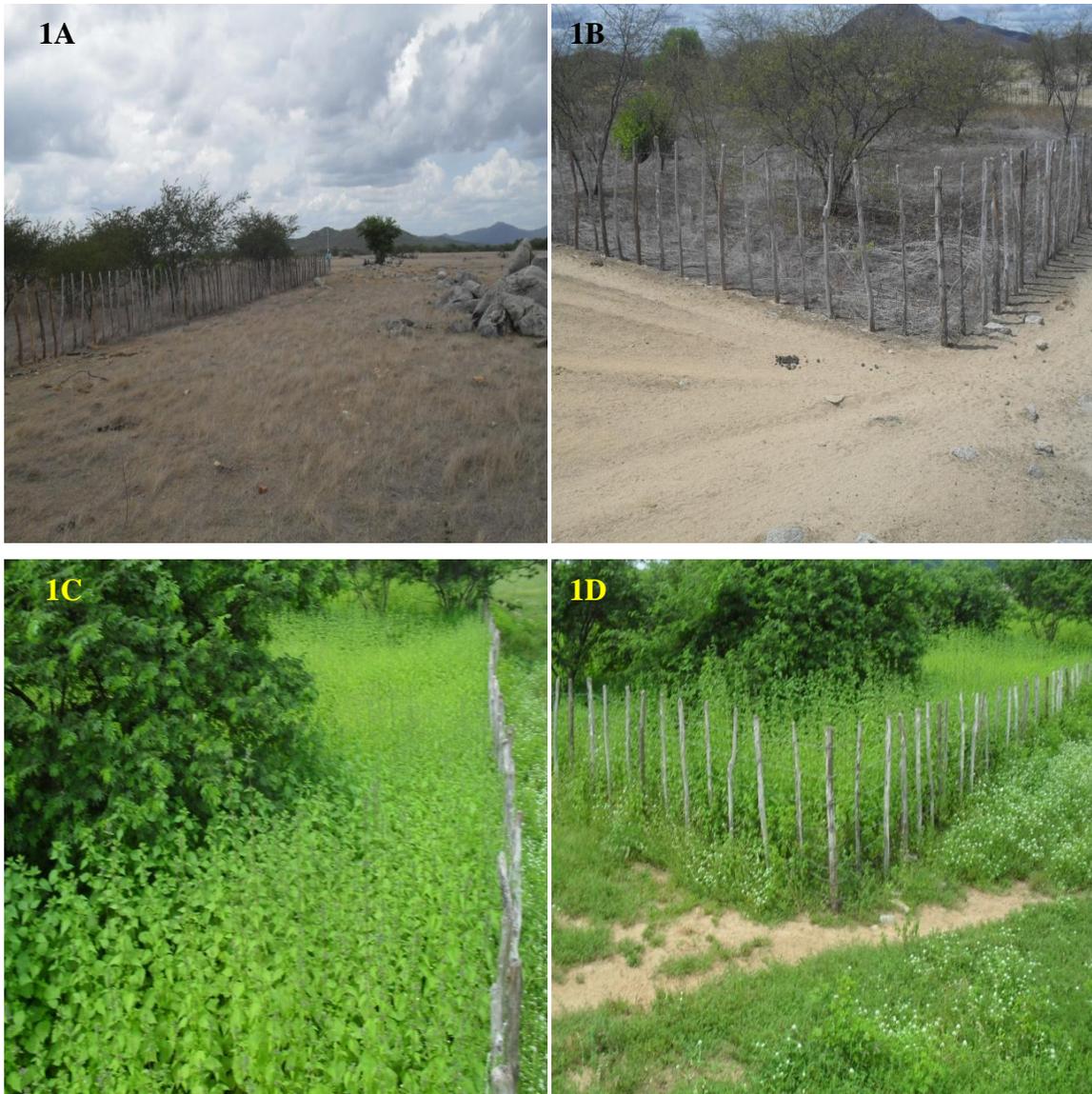


Foto: Almeida (2012).

Nessas áreas está sendo avaliada a regeneração da diversidade da vegetação e do solo de forma natural ao longo de 20 anos. Ao todo são seis áreas cercadas (exclusão) com 0,25 hectares cada e suas adjacências (superpastejo), que permanecem em condições intensas de superpastejo. No presente estudo somente quatro áreas (01, 03, 04 e 05) foram selecionadas (Figura 1A, 1B, 1C e 1D) em virtude das características apresentadas pela a vegetação presente nas áreas e a facilidade do acesso das mesmas

O solo das áreas de superpastejo no período de estiagem (Figura 1A e 1B) permanece totalmente exposto em consequência do manejo intenso e da exaustão dos

recursos vegetais, ocasionados principalmente pela presença de animais nas áreas. O consumo frequente e intenso da vegetação e serapilheira (folhas, galhos e raízes) pelos animais existentes nas áreas de exclusão promove a exposição do solo, especialmente no período de baixa precipitação, pois a vegetação da caatinga encontra-se naturalmente enfraquecida, além da ausência de um manejo conservacionista do solo e vegetação.

A exposição do solo nessas áreas de superpastejo induz ao carreamento da camada superficial pelos agentes erosivos (chuva e vento), ocasionando um desgaste e empobrecimento do solo. Segundo Araújo Filho (2013) a permanência da cobertura do solo e sua manutenção são fundamentais para o controle dos processos erosivos (desagregação, transporte e deposição), pois a biomassa vegetal intercepta a água da chuva, melhora a infiltração e retenção de água no solo, além de promover o aumento da porosidade através da funcionalidade do sistema radicular.

Nas áreas de exclusão (Figura 1C) ocorre a predominância de caatinga arbustiva, formada por uma vegetação de árvores de pequeno porte sobre um extrato herbáceo, com predominância de jurema-preta. As características relacionadas ao manejo e localização dessas áreas estão contidas na Tabela 1, de acordo com Sousa (2009).

Tabela 1 – Tempo de uso, sistema de produção, localização e vegetação predominante em áreas de exclusão de animais. Irauçuba – CE.

Área	Preservadas	Sistema de produção	Localização	Coordenadas	Vegetação
1	Preservadas desde o ano de 2000	Pecuária Extensiva (superpastejo)	Fazenda Aroeira	03°47'22''S 30°47'53''W	Caatinga arbustiva/predominância de jurema-preta
3	Preservadas desde o ano de 2000	Pecuária Extensiva (superpastejo)	Fazenda Formigeiro	03°46'50''S 39°49'49''W	Caatinga arbustiva/predominância de jurema-preta
4	Preservadas desde o ano de 2000	Pecuária Extensiva (superpastejo)	Fazenda Cacimba Salgada	03°46'39''S 39°49'49''W	Caatinga arbustiva/predominância de jurema-preta
5	Preservadas desde o ano de 2000	Pecuária Extensiva (superpastejo)	Fazenda Cacimba Salgada	03°46'15''S 39°49'51''W	Caatinga arbustiva/predominância de jurema-preta

Fonte: Adaptado de Sousa (2009)

Os solos das áreas estudadas são pouco intemperizados (jovens) e com estrutura bem definida. Suas principais características morfológicas, conforme perfis estudados nas áreas de exclusão por Sousa (2009), estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do solo nas áreas de exclusão de animais. Irauçuba – CE.

Áreas	Tipos de solos
1 - Fazenda Aroeira	Planossolo Nátrico Órtico Vertissólico A Fraco;
2 - Fazenda Formigueiro	Planossolo Nátrico Órtico Vertissólico A Fraco;
4 - Fazenda Cacimba Salgada	Neossolo Litólico Eutrófico Fragmetário, A Fraco;
5 - Fazenda Cacimba Salgada	Planossolo Nátrico Órtico típoco, A Fraco.

Fonte: Adaptado de Souza (2009).

4.2 Coleta do solo nas áreas de exclusão e superpastejo

As amostras de solo foram coletadas (Figura 2) no município de Irauçuba-CE em três localidades denominados respectivamente de Área 1 (Fazenda Aroeira), Área 2 (Fazenda Formigueiro) e Áreas 4 e 5 (Fazenda Cacimba Salgada) no mês de fevereiro de 2012. Foram coletadas amostras de solo nas áreas de exclusão de animais (bovinos e caprinos) e superpastejo (adjacente) de cada área, respectivamente.

Amostras dos solos (Figura 2) de aproximadamente 10 kg foram coletadas na profundidade 0-20 cm, em triplicata e aleatoriamente, para obtenção de uma amostra composta, com três repetições para cada área de exclusão como também para suas respectivas áreas externas adjacentes (superpastejo), tendo por finalidade a caracterização de suas características químicas e microbiológicas.

Figura 2 – Coleta de solo em áreas de exclusão de animais e superpastejo (adjacentes) na profundidade de 0-20 cm, no município de Irauçuba-CE. 2A (área de exclusão de animais); 2B e 2C (coleta de solo na área de exclusão) e 2D (área de superpastejo).



Foto: Mascena (2012).

Após a coleta, as amostras foram destorroadas, homogeneizadas e peneirados em malha de 2 mm para obtenção da TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), quando foram então acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas na casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal do Ceará (UFC). As características químicas das amostras de solo compostas foram analisadas no Laboratório de Análises de Solo e Água (DCS/UFC), de acordo com metodologia proposta pela a EMBRAPA (1997) Tabela 3.

Tabela 3 – Características químicas dos solos em áreas de exclusão de animais e de superpastejo. Irauçuba – CE.

Área*	pH	CE	C	N	C/N	MO	C-CO ₂	P assimilável
	H ₂ O	dS m ⁻¹	g/kg	g/kg		g/kg	mg 100/ g solo ⁻¹	mg/kg
1- Exclusão	6,43	0,43	7,54	0,75	10	13	12	34
1- Superpastejo	4,83	0,28	5,38	0,54	10	9,28	8,72	9,33
3 - Exclusão	5,03	0,63	6,72	0,64	11	11,59	9,79	54
3 - Superpastejo	5,07	0,70	4,86	0,49	10	8,38	9,11	42
4 - Exclusão.	4,77	0,20	4,86	0,49	10	8,38	10,68	42
4 - Superpastejo	4,90	0,21	5,30	0,55	10	7,24	9,72	4
5 - Exclusão.	5,27	0,21	5,06	0,50	10	8,72	11,01	21
5 Superpastejo	4,93	0,30	5,78	0,59	10	7,60	9,54	19

* Médias aritméticas de três repetições. CE=condutividades elétrica do solo; C=carbono; N=nitrogênio; C/N= relação carbono e nitrogênio; MO=matéria orgânica do solo; C-CO₂= respiração basal do solo; P assimilável=fósforo assimilável.

Na realização das análises para isolamento das populações nativas de rizóbios, fungos micorrízicos arbusculares e respiração basal do solo, foram utilizadas as mesmas amostras de solo coletadas nas quatro áreas de estudo (de forma duplicada para efeito de contraste entre áreas de exclusão e de superpastejo). Todos esses procedimentos foram realizados em casa de vegetação e no Laboratório de Microbiologia do Solo (DCS/UFC) e em (DCS/UFC) (Figura 3).

Figura 3 – Casa de vegetação e Laboratório de microbiologia do solo pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará-UFC.



Foto: Portela (2014); Mascena (2012);

4.3 Instalação e Condução dos Experimentos

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação (Figura 3) pertencente ao Departamento de Ciências do Solo (UFC), localizada no Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará, Brasil. O clima da região da casa de vegetação é do tipo Aw' de acordo com a classificação de Köppen, e situa-se nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 3° 44' S e longitude 38 ° 33' W.

As sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar Sempre Verde CE-25 Safra 2010 foram cedidas pelo Laboratório de Sementes do Departamento de Fitotecnia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

4.3.1 Avaliação da densidade de estirpes nativas de rizóbios para feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.

A determinação da densidade de estirpes nativas no solo foi realizada pelo método do número mais provável (NMP) com infecção em plantas de feijão-caupi, as quais foram cultivadas em vasos de Leonard com substrato de areia esterilizado em autoclave. Antes do plantio, as sementes foram desinfetadas (HUNGRIA; ARAÚJO, 1994) e semeadas três sementes por vaso, deixando-se apenas uma planta após o desbaste realizado por ocasião da emergência.

Os inóculos foram preparados de acordo com o proposto por Hungria; Araújo (1994), sendo preparadas diluições decimais (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5}) das amostras de solo de cada área de exclusão e superpastejo, a partir de dez gramas de solo diluído em solução fisiológica com 8,5 g de NaCl em 1000 mL de água esterilizada (HUNGRIA; ARAÚJO, 1994). Após o preparo das diluições foram tomadas alíquotas de 3 mL para a inoculação nas plântulas de feijão-caupi logo após o desbaste. Semanalmente os vasos receberam 150 mL da solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950) com omissão de nitrogênio (N).

As plantas de feijão-caupi foram coletadas aos 35 dias e analisadas quanto à presença (positivo) e ausência (negativo) de nódulos radiculares. Para a estimativa do número de células bacterianas viáveis utilizou-se a tabela de número mais provável (ALEXANDDER, 1965) para a obtenção do fator NMP.

4.3.2 Isolamento e caracterização morfológica de estirpes nativas de rizóbio para feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.

O isolamento de estirpes nativas rizobianas foi realizado em casa de vegetação utilizando-se vasos plásticos de 500 mL contendo solo das quatro áreas avaliadas (exclusão de animais e superpastejo (adjacentes às áreas de exclusão)), usando-se como planta-isca o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) variedade Sempre Verde CE25. As sementes utilizadas no plantio foram desinfetadas superficialmente, conforme descrito anteriormente (Avaliação da densidade de estirpes nativas de rizóbios) (Figura 5)

Figura 4 – Isolamento de estirpes nativas rizobianas para o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) variedade Sempre Verde CE25 em casa de vegetação-DCS/UFC.



Foto: Mascena (2013).

Para irrigação diária das plantas, utilizou-se água destilada e esterilizada por autoclavagem a 121°C e 1 atm de pressão por 2 horas. Semanalmente foram aplicados 150 mL da solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950) com omissão de N, de forma fracionada (três vezes na semana) para que não ocorresse a perda de nutrientes por lixiviação.

As plantas de feijão-caupi foram coletadas aos 35 dias após a semeadura para retirada dos nódulos mais representativos da região radicular. Os nódulos coletados foram tratados superficialmente com uma solução de hipoclorito de sódio a 10 % durante dez minutos para desinfecção superficial e, em seguida, foram lavados por 5 vezes em água

esterilizada e autoclavada para retirada do excesso de hipoclorito de sódio, procedimento adaptado de Barrett; Parker (2006).

Os nódulos esterilizados foram abertos sob condições assépticas e em câmara de fluxo laminar com o auxílio de um bisturi cirúrgico, esmagados com um bastão de vidro em uma placa Petri e concentrados em uma gota de água estéril. O conteúdo da gota foi repicado para uma outra placa de Petri contendo meio “79” de Allen (1957), acrescido com o pigmento vermelho congo a 1 % em solução aquosa com a finalidade inicial de evidenciar alguma contaminação.

As placas permaneceram incubadas por um período de 12 dias na ausência de luz em estufa bacteriológica regulada a 28 °C até a formação de colônias visíveis de cor clara devido a não absorção do vermelho congo, indicação de que possivelmente tratava-se de uma colônia de rizóbio sem contaminação. Após 12 dias, as colônias de coloração clara foram repicadas para uma nova placa de Petri contendo meio “79” de Allen sólido acrescido com o indicador azul de bromotimol e incubadas novamente sob as mesmas condições. Depois de decorridos 12 dias essas colônias foram caracterizadas morfológicamente de acordo com Vincent (1970), quando foram analisadas as seguintes características: tamanho, cor das colônias, elevação, presença de muco, reação à técnica de Gram, pH do meio e forma da colônia, além do tempo necessário para a formação de colônias visíveis.

Posteriormente, as colônias rizobianas foram repicadas para tubos de cultura contendo meio “79” de Allen sólido, acrescido com indicador azul de bromotimol e novamente incubadas (12 dias) e reavaliadas quanto às suas características culturais.

4.3.3 Autenticação das estirpes de rizóbios nativos em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.

A autenticação das estirpes rizobianas nativas (isolamento das estirpes nativas) foi necessária para comprovar se o isolado obtido era de fato uma cultura de rizóbio, uma vez que foi avaliada a capacidade da estirpe em induzir a formação de nódulos eficientes ou não na planta sob condições controladas. De acordo com Hungria; Araújo (1994) a autenticação dos isolados é muito importante, pois determina realmente a pureza da cultura dos rizóbios e sua capacidade de formar novamente nódulos no hospedeiro. Por isso o isolado deve ser novamente inoculado na planta trabalhada.

Para a realização da autenticação das estirpes selecionadas, as mesmas foram inoculadas novamente em feijão-caupi, utilizando-se vasos plásticos de 500 mL contendo 400 g de areia lavada (para remoção dos sais) e autoclavada por 2 horas, a 1 atm de pressão e temperatura de 121 °C. Em cada vaso plástico foram semeadas três sementes de feijão-caupi desinfectadas superficialmente, com quatro repetições para cada isolado.

As estirpes inoculadas nas sementes foram multiplicadas em erlenmeyers de 125 mL contendo 50 mL de meio de cultura “79” de Allen líquido, acrescido de azul de bromotimol e mantidos sob agitação até atingirem uma concentração de 10^9 células por mL de caldo (quantificado em câmara modificada de Neubauer). Posteriormente foram aplicados asepticamente 3 mL do caldo rizobiano às sementes de feijão-caupi por ocasião do plantio e, após cinco dias da germinação das sementes, foi realizada uma inoculação de reforço (3 mL) no colo de cada plântula recém emergida. Após a formação dos nódulos nas raízes das plantas de feijão, as estirpes provenientes dessa autenticação foram novamente isoladas para posterior utilização em ensaios de avaliação da eficiência fixadora.

4.3.4 Experimento I - Eficiência fixadora de estirpes nativas de rizóbios selecionadas em plantas feijão-caupi em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba - CE.

Para testar a eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio das estirpes nativas selecionadas e autenticadas de rizóbios das quatro áreas avaliadas (Fazenda Aroeira (área 1), Fazenda Formigueiro (área 3) e Sítio Cacimba Salgada (áreas 4 e 5)), foram conduzidos quatro experimentos com o feijão-caupi, havendo sido testadas as estirpes obtidas de cada área respectivamente.

O substrato utilizado foi uma areia lavada e autoclavada por um período de 2 horas, com o intuito de eliminar o excesso de sais e qualquer tipo de biota nativa. Foram utilizados vasos plásticos de 500 mL contendo 400 g de areia, onde foram semeadas três sementes de feijão-caupi por vaso previamente desinfectadas (conforme descrito no experimento I). Após a semeadura, as sementes foram inoculadas com o caldo rizobiano de cada uma das estirpes proveniente das áreas em estudo citadas anteriormente.

Para obtenção do caldo rizobiano concentrado foram transferidos asepticamente células rizobianas de cada estirpe para erlenmeyers de 80 mL contendo meio “79” de Allen líquido com azul de bromotimol e mantidos sob agitação até atingirem uma concentração de 10^9 células por mL de caldo, os quais foram aplicados no momento da semeadura. Após a

emergência das plântulas, foram aplicados 3 mL do caldo rizobiano ao colo de cada plântula recém emergida para reforçar a inoculação.

Semanalmente as plantas receberam 150 mL da solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950) de forma fracionada (três vezes na semana), sendo que os tratamentos com inoculação receberam solução nutritiva com omissão de nitrogênio, enquanto que os tratamentos sem inoculação receberam solução nutritiva com nitrogênio. As plantas foram irrigadas diariamente com água destilada e estéril.

O delineamento experimental utilizado nos experimentos de eficiência fixadora de nitrogênio foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. O número de tratamentos (com as diferentes estirpes) para cada área em estudo foi estabelecido em acordo com a quantidade de estirpes isoladas das quatro áreas estudadas. Também foram utilizados dois controles: um com adição de N em solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950) e ausência de inoculação / C (+N e -R), e outro controle com ausência de N e de inoculantes / C (-N e -R). Os tratamentos para cada experimento encontram-se descritos na tabela 4.

Tabela 4 – Tratamentos utilizados para experimentos de eficiência fixadora de nitrogênio das estirpes isoladas das áreas em estudo em plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

Área 1 Fazenda Aroeira	Área 3 Fazenda Formigueiro	Área 4 Fazenda Cacimba Salgada	Área 5 Fazenda Cacimba Salgada
Estirpe 1	Estirpe 8	Estirpe 14	Estirpe 18
Estirpe 2	Estirpe 9	Estirpe 15	Estirpe 19
Estirpe 3	Estirpe 10	Estirpe 16	-
Estirpe 4	Estirpe. 11	Estirpe 17	-
Estirpe 5	Estirpe 12	-	-
Estirpe 6	Estirpe 13	-	-
Estirpe 7	-	-	-
C (+N -R)	C (+N -R)	C (+N -R)	C (+N -R)
C (-N -R)	C (-N -R)	C (-N -R)	C (-N -R)
9 tratamentos	8 tratamentos	6 tratamentos	4 Tratamentos
4 repetição	4 repetição	4 repetição	4 repetição
32 unidade	24 unidades	12 unidades	16 unidades
Experimentais	Experimentais	Experimentais	Experimentais

C (+N -R): controle com nitrogênio e sem inoculação; C (-N -R): controle com omissão de nitrogênio e sem inoculação (controle absoluto).

Aos 35 dias após a semeadura, as plantas de feijão-caupi foram coletadas e separadas em parte aérea e raiz para avaliação dos tratamentos adotados, quando foram analisados dos seguintes parâmetros:

- Matéria seca da parte aérea – as plantas foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 - 70 ° C até massa constante. Após a secagem as plantas foram pesadas em balança analítica com 0,01 g de precisão.
- Matéria seca dos nódulos – os nódulos foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 - 70 ° C até massa constante e, após a secagem, os nódulos foram pesadas em balança analítica com 0,01 g de precisão.
- Teor de nitrogênio na parte aérea - foi determinado em extrato de digestão sulfúrica pelo método de semi-micro-Kjeldahl, conforme metodologia descrita por Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).
- Eficiência relativa das estirpes de rizóbio - a eficiência relativa de cada estirpe foi calculada de acordo com a expressão utilizada por Chagas Júnior *et al.* (2014)

$$Efr = \frac{MSPA}{MSPA \text{ do controle com N mineral}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Efr – Eficiência relativa;

MSPA – Matéria seca da parte aérea.

4.3.5 Estudo da diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE

Os esporos de FMA foram extraídos das amostras de solo coletadas das quatro áreas avaliadas ((Área 1 - Fazenda Aroeira), (Área 3 - Fazenda Formigueira) e (Áreas 4 e 5-

Sítio Cacimba Salgada) de exclusão e superpastejo, a partir de 100 g de solo das áreas de exclusão de animais e superpastejo do município de Irauçuba-CE. Para extração dos esporos dos FMA utilizou-se a técnica de peneiramento por via úmida (GERDEMANN; NICHOLSON, 1963). Os esporos retidos nas peneiras de 0,044 mm, 0,088 mm, 0,0106 mm e 0,250 μm foram transferidos para placas de Petri, agrupados por morfotipos e quantificados em placa canaletada sob estereomicroscopia de campo claro (40x).

Para o agrupamento dos morfotipos foram preparadas lâminas para microscopia a fresco com lactoglicerol como solução de montagem, com o objetivo de observar as semelhanças morfológicas (SCHENCK; PEREZ, 1990) e (INVAM, 1998) dos esporos.

4.3.6 Respiração Basal do Solo (RBS) nas áreas de exclusões de animais e de superpastejo no município de Irauçuba-CE.

A respiração basal solo foi determinada em amostras compostas coletadas nas quatro áreas de estudo (Área 1- Fazenda Aroeira; Área 3 - Fazenda Formigueira; e Áreas 4 e 5 -Sítio Cacimba Salgada).

A produção do C-CO₂ ou C mineralizável foi determinada pelo método proposto por Alef (1995), que baseia-se na captura do CO₂ liberado no solo pela atividade da microbiota nativa por uma solução de NaOH 0,5 mol⁻¹ e quantificado por titulação com uma solução de HCL 0,5N. Inicialmente pesou-se 10 g de solo das amostras compostas das quatro áreas em estudo (exclusão e superpastejo) e colocou-se em estufa a 105 °C por 24 horas para que fosse determinada a umidade residual no solo, com o objetivo de que cada amostra recebesse a mesma quantidade de água no momento em que estas fossem incubadas nos seus respectivos frascos. Em seguida foi determinada também a capacidade de retenção de água das amostras.

Para a quantificação da respiração basal do solo, pesou-se 50 g de solo (TSFA) de cada uma das amostras das quatro áreas (exclusão e superpastejo), em triplicata, ajustando-se a sua umidade para 60 a 70 % da sua capacidade de retenção de água. Esta umidade foi ajustada com os solos já presentes nos frascos herméticos e incubados por sete dias na ausência da luz com a finalidade do restabelecimento do equilíbrio biológico decorrente da perturbação sofrida durante a amostragem do solo e preparo do ensaio respirométrico. Após a incubação foi colocado em cada frasco (inclusive nos brancos) dois cadinhos: um contendo 20 mL de água destilada para manutenção da umidade constante no interior do frasco e outro contendo NaOH 0,5 mol⁻¹ para a captura do CO₂ liberado das amostras. Esses frascos foram

fechados hermeticamente e incubados ao abrigo da luz a uma temperatura ambiente em torno de 28 °C. A cada 24 horas de incubação foi realizada uma leitura, pipetando-se 10 mL do NaOH 0,5 mol⁻¹ contido no cadinho e transferindo-os para um becker de 50 mL, adicionando-se ainda, através de um dispensador, mais 10 mL de uma solução de BaCl₂ e 3 gotas da solução indicadora de fenolftaleína a 1 %. Em seguida procedeu-se a titulação da soda contida no cadinho com uma solução de HCl 0,5N. No momento da titulação todos os frascos foram deixados por 20 minutos abertos para que ocorresse o equilíbrio gasoso no interior dos mesmos. Finalizado a titulação, os frascos foram reabastecidos com um novo cadinho contendo outro volume da solução de NaOH 0,5 mol⁻¹ para que se procedesse a leitura no dia seguinte.

Esse procedimento foi repetido ao longo de 10 dias, período em que se calculou a quantidade de CO₂ diária e acumulada liberada por grama de solo (em mg de C-CO₂ dia⁻¹/100 cm³ de solo).

4.4 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional ASSISTAT versão 7.6 beta (2013). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 1 % ($p < 0,01$) de probabilidade.

Nos experimentos de avaliação da eficiência fixadora de estirpes nativas de rizóbios selecionadas em plantas feijão-caupi em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba – CE, foi utilizado um delineamento inteiramente casualidade com quatro repetições.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises químicas dos solos amostrados nas áreas de exclusões de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.

De acordo com as análises químicas das amostras de solo coletadas nas quatro áreas (Área 1 - Fazenda Aroeira), (Área 3 - Fazenda Formigueiro) e (Áreas 4 e 5 - Fazenda Cacimba Salgada) descrita anteriormente na Tabela 3, pode-se observar que o valor do pH da solução do solo na Área 1 (exclusão de animais - Fazenda Aroeira) apresentou valor médio de 6,43, sendo classificada como uma acidez moderada de acordo com Lopes (1989). Resultado diferente foi encontrado na Área 1 (superpastejo - Fazenda Aroeira), pois a mesma apresentou valores de pH da solução do solo bem abaixo da neutralidade, com um o valor médio de 4,83, sendo classificada como acidez forte. Resultados semelhantes ocorreram nas Áreas 3 (Fazenda Formigueiro), Áreas 4 e 5 (Fazenda Cacimba Salgada), áreas de exclusão e superpastejo respectivamente.

O pH da solução do solo é influenciado por diversos fatores tais como clima (precipitação), remoção de bases pelas culturas, lixiviação das bases, teor de matéria orgânica e tipo de manejo aplicado ao solo. Vários estudos mostram valores de pH menores em áreas de exclusão (LI *et al.*, 2006; PEI *et al.*, 2007), os quais estão relacionados com a cobertura vegetal do solo, processos erosivos, teor e qualidade da matéria orgânica e com a liberação de exsudados radiculares pelas plantas. Outro aspecto importante a ser considerado é a liberação de ácidos orgânicos pela decomposição da matéria orgânica do solo pela ação dos microorganismos que, como consequência, tende a acidificar a solução. De acordo com Pavinato; Rosolem (2008) a decomposição da matéria orgânica é a principal fonte de ácidos no solo, assim como a produção de exsudados radiculares e microbianos.

Em relação aos resultados que evidenciaram pH ácido do solo nas áreas de superpastejo, pode-se explicá-los em decorrência de uma possível lixiviação lateral do solo, ocasionada pela presença de um horizonte B plânico, o qual dificulta a infiltração de água no solo e conseqüentemente aumenta o escoamento superficial nas áreas de superpastejo. Almeida *et al.* (2012), ao estudarem essas áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE, observaram que o pousio promoveu a redução de 60 % no escoamento superficial em relação à área degradada (superpastejo), proporcionando condições para a recuperação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A degradação do solo nessas áreas de superpastejo, ocasionada pelo seu uso intensivo, pode ter favorecido o desenvolvimento de uma população de organismos selecionados (fauna, flora e micro-organismos), gerando uma menor diversidade e um desequilíbrio neste sistema de manejo. De acordo com Tótola; Chaer (2002) uma alta diversidade de organismos geralmente está associada a uma elevada estabilidade da comunidade, onde cada população desempenha papel funcional que determina a manutenção normal dos fluxos de matéria e energia em cada nível trófico de um ecossistema particular. No entanto, o desequilíbrio encontrado nas áreas de estudo pode ser observado pela presença do *Stylosanthes*, pois essa leguminosa forrageira apresenta ampla adaptação e resistência às pressões bióticas e abióticas (solos ácidos e de baixa fertilidade) (LOPES *et al.*, 2011).

Outro aspecto relevante a ser exposto é a adição diária de excrementos pelos animais (gado bovino e ovinocaprino) que se alimentam nessas áreas de superpastejo, uma vez que a entrada desses excrementos no sistema apresenta um efeito incontestável na fertilidade do solo (KURZ; O'REILLY; TUNNEY, 2006), embora também possa ser uma fonte de liberação de nutrientes indesejáveis para o ambiente, além da adição desses excrementos no solo ser sempre acompanhada de uma comunidade diversificada de micro-organismos patogênicos e resistentes à ação de antibióticos.

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) nas áreas de exclusão de animais apresentaram valores médios maiores em comparação às áreas de superpastejo. Os resultados do presente trabalho sugerem ter havido fornecimento suficiente de resíduos (folhas, galhos e raízes) pela vegetação em pousio, possibilitando um acúmulo de MOS na superfície do solo, ao contrário das áreas de superpastejo. Esses resultados confirmam os encontrados por Costa (2013) ao avaliar essas áreas de exclusão e superpastejo do município de Irauçuba-CE. Diel *et al.* (2014), ao estudarem uma mata nativa preservada, observaram um incremento no teor de matéria orgânica do solo como consequência do aporte de material orgânico depositado na superfície do solo pela a vegetação.

A presença da vegetação e a manutenção dos restos vegetais (folhas, galhos e raízes) na superfície do solo apresentou grande importância no aporte de MOS, o que consequentemente influenciou nos aspectos químicos e biológicos, além de proteger o solo da radiação solar, aumentando a eficiência da ciclagem de nutrientes para o sistema solo-planta. Salcedo; Sampaio (2008) confirmam que a quantidade de MOS está relacionada à presença e formação da biomassa vegetal a qual, por sua vez, depende da fertilidade do solo. Com isso a entrada de resíduos orgânicos tende a ser elevada em áreas com presença de vegetação que

possa depositar na superfície do solo os restos vegetais senescentes, capazes de serem decompostos pelos organismos do solo, favorecendo assim as propriedades químicas, biológicas e físicas do solo.

De acordo com Mieiniczuk; Bayer (2008), entre as características químicas do solo afetadas pela a MOS destacam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes. Nas características biológicas a MOS atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os micro-organismos, e nas características físicas a MOS é efetiva na formação e estabilidade de agregados dos solos.

Kotzé *et al.* (2013) comentam que a matéria orgânica do solo é um dos principais fatores responsáveis pelo funcionamento dos ecossistemas, uma vez que melhora a estrutura do solo, aumenta a infiltração de água e, conseqüentemente, reduz a degradação do solo e a erosão através da estabilização dos agregados. De acordo com Sampaio *et al.* (2005), havendo a conservação da vegetação nativa e da matéria orgânica do solo, as chances de degradação do solo serão menores em virtude dos fatores ambientais e da ação antrópica. A vegetação além de ser a principal responsável por originar e manter um aporte de carbono no solo, também age como um isolante térmico entre o solo e a atmosfera, proporcionando uma temperatura mesofílica no ecossistema.

D'Andrea *et al.* (2012), ao estudarem sistemas de mata nativa e áreas desmatadas, observaram que esses sistemas influenciam de forma significativa a manutenção da matéria orgânica na superfície do solo, pois os teores de MOS apresentaram-se maiores nas áreas sob vegetação nativa. Jeddi; Chaieb (2010) também encontraram resultados similares em áreas de exclusão de animais e superpastejo em ambientes áridos degradados do Sul da Tunísia, onde os mesmos relataram que a matéria orgânica do solo é mais elevada em áreas de exclusão.

Os teores de fósforo assimilável (Tabela 3) nas áreas de exclusão de animais apresentaram valores médios superiores em comparação às áreas de superpastejo. Estes resultados possivelmente estão relacionados à presença de vegetação e de resíduos orgânicos na superfície do solo. A decomposição desses resíduos orgânicos pela ação dos micro-organismos favorece a ciclagem e o acúmulo de fósforo no solo, disponibilizando-o para as plantas.

De acordo com Vargas; Hungria (1997) o teor do fósforo no solo é originado por duas fontes: a partir da solubilização da rocha matriz (minerais apatíticos ou fosfatos de cálcio) e pela decomposição dos materiais orgânicos (restos vegetais e animais mortos, entre outros), sendo esta última fonte escassa nas áreas de superpastejo por ausência de vegetação e,

consequentemente, diminuição da atividade da microbiota do solo. De acordo com Siqueira *et al.* (2004) a biomassa microbiana do solo recicla cerca de 70 vezes mais fósforo por ano do que a fitomassa, pois os micro-organismos do solo têm participação ativa nas transformações do P no solo, influenciando sua disponibilidade para as plantas e seu fluxo na natureza.

5.2 Densidade de estirpes nativas de rizóbios para feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.

De acordo com a determinação do número mais provável de células viáveis rizobianas para a cultura do feijão-caupi (Tabela 5) pode-se observar uma variação nas amostras analisadas de cada área em estudo, com uma dinâmica diferencial, fato justificado pelo manejo do solo (exclusão de animais e superpastejo), suas características químicas, tipo de vegetação e histórico de uso das áreas.

Tabela 5 – Densidade de células viáveis rizobianas em áreas de exclusão de animais e de superpastejo. Irauçuba-CE.

Densidade de células viáveis rizobianas	Área 1 Fazenda Aroeira	Área 3 Fazenda Formigueiro	Área 4 Fazenda Cacimba Salgada	Área 5 Fazenda Cacimba Salgada
Células/g Solo				
Exclusão	13,3	98	13,3	14
Superpastejo	1,3	51	57	0

Na Área 1 - Fazenda Aroeira, a densidade de células rizobianas viáveis foi maior na área de exclusão de animais com um valor médio de 13,3 células/g solo (Figura 5), enquanto que a área de superpastejo apresentou um valor médio de 1,3 células/g solo (Tabela 5). A densidade de células viáveis no solo é afetada por diversos fatores edafoclimáticos (SADOWSKY, 2005) o que pode ter sido determinante nos solos estudados, principalmente na área de superpastejo, visto que encontra-se em um estágio elevado de degradação.

A baixa precipitação e umidade do solo nas áreas também podem ter afetado a densidade de células viáveis no solo, pois de acordo com Hungria; Vargas (2000) longos períodos de estiagem tende a reduzir a densidade populacional de rizóbios no solo, condições observadas no município de Irauçuba.

Outro fator a ser considerado são as características químicas do solo e a ausência de vegetação na área, o que induz aos rizóbios a adaptarem-se às condições saprofíticas,

ocorrendo eventualmente perda do material genético envolvido na qualidade da fixação biológica do nitrogênio. De acordo com Zilli *et al.* (2013) as condições de fertilidade do solo e umidade do solo podem dificultar a sobrevivência dos rizóbios no solo.

Figura 5 – Células rizobianas viáveis na área 1 de exclusão (preservada do ano 2000) no município de Irauçuba-CE, (aumento de 1000 x).

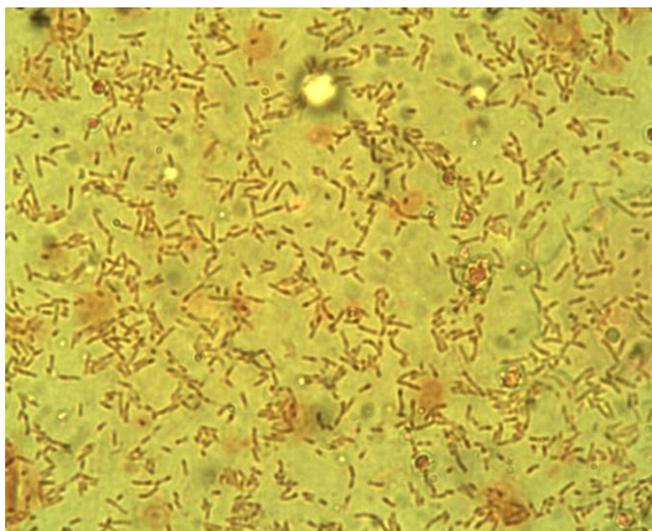


Foto: Mascena e Matos (2013).

Na Área 3 - Fazenda Formigueiro pode-se observar que a área de exclusão de animais apresentou uma maior densidade de células rizobianas viáveis (98 células/g solo) em relação a de superpastejo (51 células/g solo), demonstrando que a preservação do solo na área exclusão e o restabelecimento inicial da macroflora nativa influenciaram nesse resultado.

Resultados diferentes podem ser observados na área 4 de exclusão de animais, pois a área apresentou valor médio bem baixo (13,3 células/g solo) em comparação a de superpastejo (57 células/g solo). Entretanto, a ausência ou os valores baixos de células rizobianas viáveis no solo em áreas de exclusão de animais também podem estar relacionados com o baixo requerimento de nitrogênio pelo sistema, uma vez que se pressupõe uma condição de equilíbrio nessas áreas, ou seja, nas áreas preservadas o nitrogênio é proveniente da ciclagem de nutrientes no solo através da decomposição da matéria orgânica fornecida pela vegetação presente nessas áreas. Lima *et al.* (2009) explicam que em ambientes preservados o requerimento de nitrogênio pode ser suprido por uma ciclagem eficiente da matéria orgânica e, portanto, não havendo estímulo para o estabelecimento da simbiose.

A Área 5 - Fazenda Cacimba Salgada comportou-se totalmente diferente das demais, pois somente a área de exclusão de animais apresentou células viáveis rizobianas para a cultura do feijão-caupi, proporcionando uma média de 14 células/g solo. Já na área de superpastejo não foram encontradas células rizobianas viáveis (Tabela 5).

Sene *et al.* (2012) ao estudarem a abundância de rizóbios em solo de uma área degradada e em sistemas florestais no semiárido do Senegal, observaram um aumento de células rizobianas, com a utilização do método do número mais provável, ao contrário da área desmatada a qual apresentava valores bem menores.

Outro aspecto a ser observado nas áreas de exclusão de animais e superpastejo é a variação do pH da solução do solo (Tabela 3), pois apresentaram valores mais ácidos. Esses valores de pH da solução do solo podem ter influenciado na densidade de células viáveis rizobianas no solo. De acordo com Ali *et al.* (2009) as células rizobianas crescem em uma faixa de pH que varia entre 6,0 e 7,0 e poucas estirpes apresentam um bom crescimento em pH menor que 5,0. Hungria;Vargas (2000) relatam que o pH da solução do solo constitui um dos principais fatores limitantes à fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico. Martins *et al.* (2011) relatam que a acidez da solução do solo pode deprimir a população de rizóbios no solo, podendo afetar alguns processos citoplasmáticos das bactérias que sejam sensíveis ao grau de acidez do solo. Também vale ressaltar que existem estirpes rizobianas tolerantes à acidez do solo, mas essa tolerância depende da espécie vegetal e das estirpes envolvidas na simbiose. Normalmente este fato ocorre quando as estirpes são isoladas de solos em condições de acidez, pois tais isolados conseguem desenvolver mecanismos de adaptação para sua sobrevivência local.

5.3 Isolamento e autenticação de estirpes nativas de rizóbio para feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.

Na Tabela 6 estão relacionados os totais de estirpes rizobianas selecionadas e autenticadas nas quatro áreas do município de Irauçuba-CE para a cultura do feijão-caupi. Foram obtidas, no total, 19 estirpes de rizóbios nativos provenientes das quatro áreas (exclusão e superpastejo) localizadas no município de Irauçuba-CE.

Tabela 6 - Número de estirpes rizobianas autenticadas em associação ao feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo. Irauçuba-CE.

Área 1 Fazenda Aroeira	Área 3 Fazenda Formigueiro	Área 4 Fazenda Cacimba Salgada	Área 5 Fazenda Cacimba Salgada
Estirpe 1 (Exclusão)	Estirpe 8 (Exclusão)	Estirpe 14 (Exclusão)	Estirpe 18 (Exclusão)
Estirpe 2 (Exclusão)	Estirpe 9 (Exclusão)	Estirpe 15 (Superpastejo)	Estirpe 19 (Exclusão)
Estirpe 3 (Exclusão)	Estirpe 10 (Exclusão)	Estirpe 16 (Superpastejo)	
Estirpe 4 (Exclusão)	Estirpe 11 (Superpastejo)	Estirpe 17 (Superpastejo)	
Estirpe 5 (Exclusão)	Estirpe 12 (Superpastejo)		
Estirpe 6 (Superpastejo)	Estirpe 13 (Superpastejo)		
Estirpe 7 (Superpastejo)			
7 estirpes	6 estirpes	4 estirpes	2 estirpes

Durante a etapa de autenticação das estirpes selecionadas observou-se que as plantas de feijão-caupi inoculadas com as 19 estirpes selecionadas (Tabela 6) apresentaram folhas com coloração verde intensa (Figura 6) em comparação aos controles com ausência conjunta de inoculação e nitrogênio mineral, além da coloração rósea intensa dos nódulos devido a presença de alta concentração de leghemoglobina, demonstrando que uma simbiose eficiente estava estabelecida.

De acordo com Hungria; Araújo (1994) um dos indicativos de eficiência na fixação biológica de nitrogênio atmosférico é a presença da coloração rósea interna dos nódulos, devido à presença da leghemoglobina no interior dos nódulos, cor essa evidenciada nos nódulos no início da fixação do nitrogênio.

Figura 6 – Plantas de feijão-caupi na autenticação das estirpes nativas selecionadas das áreas de exclusão e superpastejo do município de Irauçuba-CE.



Foto: Mascena, 2012

De acordo ainda com a Tabela 6 pode-se observar que os maiores números de estirpes de rizóbios autenticados foram obtidos da Área 1 - Fazenda Aroeira, a qual apresentou sete estirpes isoladas, sendo cinco estirpes provenientes da área de exclusão de animais e duas da área de superpastejo.

O maior número de estirpes rizobianas autenticadas que se associaram a cultura do feijão-caupi obtidas da área de exclusão de animais pode estar relacionado com o manejo em pousio desde o ano 2000 associado a uma vegetação predominante de uma espécie de leguminosa nativa (jurema-preta). Outro aspecto importante a ser ressaltado é que o feijão-caupi é uma espécie não seletiva, ou seja, pode associar-se com praticamente qualquer estirpe rizobiana presente no solo podendo, portanto, ser utilizada como indicadora da existência de uma população rizobiana nativa e dispersa no solo. Em relação ao menor número de estirpes isoladas e autenticadas na área de superpastejo, esse fato pode estar relacionado ao avanço da degradação do solo, dentre eles o consumo excessivo da vegetação pelos animais e processo erosivo.

Na Área 3 - Fazenda Formigueiro pode-se observar que foram encontradas seis estirpes rizobianas selecionadas e autenticadas para a cultura do feijão-caupi. Dessas, três estirpes foram provenientes da área de exclusão de animais e três da área de superpastejo.

O maior número de estirpes selecionadas e autenticadas para a Área 3 está de acordo a densidade de células rizobianas viáveis encontrada na Tabela 6. Outro fator que pode

ter influenciado esse resultado foi o pH da solução do solo, pois o mesmo encontrava-se numa faixa ácida entre 5,0 e 5,2 (Tabela 3). Siqueira; Moreira (2006) relatam que valores de pH abaixo de 5,5 reduzem consideravelmente a simbiose com feijão-caupi, afetando todos os aspectos da nodulação e da fixação biológica de nitrogênio, desde a sobrevivência e a multiplicação do rizóbio no solo até o processo de infecção e desenvolvimento do nódulo, diminuindo a intensidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico.

Na Área 4 - Fazenda Cacimba Salgada foram selecionadas e autenticadas quatro estirpes nativas, das quais uma foi proveniente da área de exclusão de animais e três da área de superpastejo, ou seja, foram obtidas mais estirpes na área de superpastejo. Esses resultados encontrados para a área de superpastejo não eram os esperados, visto que essa área estava sob um intenso processo de degradação no qual a vegetação é explorada fortemente através do superpastoreio. Provavelmente esses resultados podem estar relacionados com o histórico de uso da área, vegetação predominante, manejo inadequado do solo, tipo de solo, clima (temperatura e período chuvoso) da região e cultura implantada antes da adoção do sistema de superpastejo.

Pinto *et al.* (2009) relatam que o cenário dessa região muda logo após as primeiras chuvas (período Chuvoso), pois a impermeabilidade dos horizontes subsuperficiais desses solos dificulta a drenagem, favorecendo a permanência de água na superfície e a instalação de um tapete herbáceo-graminóide formando extensas áreas de campos, diferente do que ocorre no período de estiagem, no qual a exposição dos solos é completa, pois a vegetação é submetida ao superpastejo. Os mesmos autores relatam também que os solos do município de Irauçuba-CE apresentam uma grande variedade de solo jovens com baixo grau de intemperismos, embora nos setores onde ocorre maior erosão predominem os Planossolos intercalados com Neossolos litólicos, ocupando os setores mais rebaixados. Todos esses fatores ambientais citados acima podem influenciar no crescimento das populações nativas de rizóbios e no restabelecimento dos micro-organismos do solo e da vegetação, tanto no período chuvoso e de estiagem.

5.4 Caracterização morfológica de estirpes autenticadas de rizóbios em áreas de exclusão e superpastejo do município de Irauçuba-CE.

As características culturais morfológicas das dezenove estirpes de rizóbios (Tabela 6) autenticadas e selecionadas para utilização nos ensaios de avaliações da eficiência simbiótica com feijão-caupi estão listadas na Tabela 7. De acordo com os dados obtidos, pode-se observar que, das dezenove estirpes rizobianas, somente a de número dezoito

apresentou diferença em relação ao pH do meio (básico) diferindo, assim, das demais. Estas, por sua vez, apresentaram características culturais similares (gram negativas, crescimento rápido e acidificação do meio de cultura) durante dozes dias de observação.

As dezenove estirpes rizobianas apresentaram crescimento rápido (3 dias) após a repicagem em placas Petri contendo meio “79” de Allen sólido acrescido com o indicador azul de bromotimol. De acordo com Medeiros *et. al.* (2009) os rizóbios de crescimento rápido são comuns nas regiões áridas e semiáridas devido a maior necessidade de uma rápida multiplicação para a perpetuação das espécies nos solos, já que são mais tolerantes a períodos de baixa pluviosidade, fato esse predominante na região de Irauçuba-CE.

Pode-se observar que as estirpes selecionadas (1 a 7) da Área 1 - Fazenda Aroeira, sob as condições de exclusão de animais e superpastejo, apresentaram características similares entre si enquanto que a única diferenciação observada foi em relação a coloração, pois as estirpes 1 e 2 apresentaram cor branca. Todas as estirpes apresentaram crescimento rápido e elevada produção de muco, características típicas de estirpes de ambientes com pouca umidade. Possivelmente essas estirpes podem ser da mesma espécie, já que apresentaram características morfológicas similares, embora não se possa afirmar com segurança uma vez que não foram realizados testes moleculares para um definitivo posicionamento taxonômico. Neste aspecto, é muito importante ressaltarmos que estudos futuros sejam realizados para uma melhor compreensão da ecologia microbiana nessas áreas com o emprego dessas técnicas moleculares, dando continuidade aos estudos realizados.

As estirpes selecionadas da Área 3 - Fazenda Formigueiro de exclusão e superpastejo apresentaram similaridades com as da Área 1 como também entre si, tendo como única diferenciação a característica transparência (branco leitoso), em comparação com as estirpes 8, 9, 10, 11 e 12 dessa mesma área. Já nas Áreas 4 e 5 - Fazenda Cacimba Salgada pode-se observar as mesmas semelhanças entre as estirpes com exceção da estirpe 18, a qual promoveu acidificação do meio de cultivo.

Tabela 7 - Caracterização morfológica de estirpes autenticadas de rizóbios em associação com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em áreas de exclusão de animais e superpastejo. Irauçuba-CE.

Estirpes	Origem	Forma	Borda	Elevação	Cor	Transparência	M: Quantidade	M: Elasticidade	Reação	Gram
1	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Branco	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
2	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Branco	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
3	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
4	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
5	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
6	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
7	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
8	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
9	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
10	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
11	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
12	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
13	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
14	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
15	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
16	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
17	Superpastejo	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Translúcida	Abundante	Pouca	Ácida	Negativa
18	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branca leitoso	Abundante	Pouca	Básica	Negativa
19	Exclusão	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Amarelada	Abundante	Muito	Ácida	Negativa

T - tempo; M - Muco.

Geralmente o crescimento rápido, produção de muco elevada e acidificação do meio de cultivo das estirpes de regiões áridas e semiáridas estão relacionados com a estratégia de sobrevivência em ambientes sob condições adversas sob estresses bióticos e abióticos, pois estas estirpes apresentam maior tolerância a períodos secos e se multiplicam rapidamente no ambiente, quando encontram condições ideais de temperatura, umidade e pH favoráveis a sua multiplicação no solo. Tan; Broughton (1981) sugerem que essas alterações de pH no meio de cultivo são promovidas pela utilização preferencial das estirpes de crescimento rápido pelos açúcares presentes no meio de cultura e pela excreção de ácidos orgânicos após o consumo desse açúcar.

Teixeira *et al.* (2010) ao estudarem rizóbios nativos da caatinga encontraram 61 estirpes de crescimento rápido e 6 de crescimento lento. Tais resultados encontrados reforçam os dados encontrados nesse trabalho, onde 18 estirpes apresentaram crescimento rápido e somente uma apresentou crescimento lento, com acidificação do meio. Santos *et al.* (2007) também encontraram resultados semelhantes ao estudar a diversidade de rizóbios capazes de nodular leguminosas tropicais.

Os solos do município de Irauçuba-CE apresentam características favoráveis ao desenvolvimento dessas estirpes de crescimento rápido, pois é uma região de clima semiárido com baixa precipitação pluviométrica, altas temperaturas e elevado índice de desmatamento, proporcionando, assim, condições adversas com estresses bióticos e abióticos para que estas estirpes de crescimento rápido estejam presentes no solo.

Estas condições adversas de estresses podem proporcionar uma maior tolerância destas estirpes ao ambiente, pois as mesmas desenvolvem mecanismos capazes de sobreviver em condições de baixa umidade e altas temperaturas. Segundo Santos *et al.* (2007) as regiões de clima semiárido apresentam características peculiares, estando toda a sua biodiversidade em condições permanente de estresse, seja de temperatura ou de baixa precipitação pluviométrica, podendo afetar diretamente a sobrevivência e a eficiência dos micro-organismos no solo.

5.5 Eficiência fixadora de estirpes nativas de rizóbios selecionadas em plantas feijão-caupi em áreas de exclusão de animais e superpastejo no município de Irauçuba-CE.

5.5.1 Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes de rizóbias isoladas da Área 1 - Fazenda Aroeira - Irauçuba-CE.

Todas as estirpes rizobianas inoculadas induziram a formação de nódulos nas raízes das plantas de feijão-caupi nas áreas analisadas. Como era de se esperar, a adubação nitrogenada mineral produziu os maiores valores de nitrogênio total e de massa da matéria seca da parte aérea das plantas, pois receberam solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950) com esse elemento. Os tratamentos controle, não inoculados, não apresentaram nodulação radicular (Tabela 8).

Tabela 8 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Aroeira, Irauçuba-CE.

Área 1 - Fazenda Aroeira	MSPA (g)	Efr (%)	TNPA (mg/Kg)	MSN (g)
Estirpe 1	1, 6 BC	50 A	73,7 A	0,17 C
Estirpe 2	2, 1 B	64 A	61, 6 A	0, 20 BC
Estirpe 3	1, 9 B	61 A	24, 9 C	0, 23 AB
Estirpe 4	2, 1 B	65 A	22, 8 C	0, 27 A
Estirpe 5	2, 0 B	62 A	23, 5 C	0, 22 B
Estirpe 6	1, 3 C	40 A	20, 1C	0, 08 D
Estirpe 7	2, 0 B	60 A	17,0 C	0, 19 BC
C (+N -R)	3, 3 A	-	68,1 A	Sem nódulos
C (-N -R)	1, 2 C	-	44,8 B	Sem nódulos
CV (%)	17,4 %	22,59 %	20,9 %	19,6 %

*Valores seguidos por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).
Legenda: C (+N -R)=controle sem inoculação e com adição de nitrogênio; C (-N -R)= controle sem inoculação e omissão de nitrogênio; TNPA=Teor de nitrogênio na parte aérea; MSPA=matéria seca da parte aérea; Efr (%) = eficiência relativa ao controle adubado com N mineral; MSN= matéria seca dos nódulos.

Na tabela 8 pode-se observar que as estirpes 2, 3, 4, 5 e 7 foram as que mais influenciaram na produção da matéria seca da parte aérea das plantas (MSPA), enquanto as estirpes 1 e 6 foram aquelas que menos contribuíram, não apresentando, portanto, diferença estatística significativa em relação ao controle absoluto (-N -R). Apesar da menor

contribuição na produção da MSPA, as estirpes 1 e 6 ainda apresentaram uma eficiência relativa (Efr) ao controle adubado com N mineral variando de 40 a 50 %, respectivamente. Contudo, a estirpe rizobiana 6 também induziu a menor produção da matéria seca de nódulos (MSN), diferindo estatisticamente dos demais isolados, sendo uma das estirpes de menor eficiência relativa ao controle adubado com N mineral.

Freire *et al.* (1992) descrevem que quando ocorre uma menor nodulação, usualmente ocorre também uma menor eficiência fixadora de nitrogênio nas plantas associadas com rizóbios, embora alguns pesquisadores tenham obtido resultados que demonstram que essa correlação nem sempre é verdadeira. Freitas *et al.* (2011), avaliando a nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da caatinga cultivadas em solos do semiárido paraibano, constataram que nenhum dos parâmetros de nodulação avaliados (número e biomassa de nódulos) explicou as proporções de nitrogênio fixado pelas plantas, sugerindo que essas variáveis têm pouca relação com a eficiência simbiótica.

A estirpe rizobiana 4 foi a que mais se destacou uma vez que apresentou maior Efr, MSPA e MSN. Entretanto, as estirpes rizobianas 1 e 2 foram as que mais acumularam N na parte aérea das plantas avaliadas (Tabela 8), apresentando nódulos bem característicos com distribuição uniforme na raiz principal do feijão-caupi. Lima *et al.* (2005) relatam que populações nativas são constituídas por grande diversidade de estirpes, com eficiência simbiótica variável, algumas das quais podem ser recomendadas para testes de eficiência agronômica.

Rufini *et al.* (2014) relatam que diversos fatores (como temperatura, pH, salinidade, umidade e nitrogênio no solo) podem comprometer a eficiência das estirpes inoculadas em feijão-caupi. Além disso deve-se considerar a capacidade do feijão-caupi em nodular com diferentes espécies de rizóbios, embora nem sempre apresentando uma boa eficiência fixadora. O processo de fixação biológica de nitrogênio também é influenciado pelas características genótípicas do macro e do microsimbionte, refletindo nas diversas respostas em relação à planta hospedeira, especificidade e eficiência simbiótica das estirpes testadas (COSTA *et al.*, 2011).

É importante ressaltar que o desempenho simbiótico observado pelas estirpes nativas da Área 1, em substrato estéril, deve ser confirmado a campo para que possam ser selecionadas e recomendadas como inoculante para o feijão-caupi em condições semiáridas. Futuramente essas estirpes poderão ser testadas quanto à sua eficiência por cultivares

desenvolvidos em programas de melhoramento de plantas para o feijão-caupi, com o objetivo de maximizar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio.

De acordo com Singh *et al.* (2002) os programas de melhoramento de plantas de feijão-caupi costumam focar principalmente a precocidade, resistência a pragas e doenças, armazenamento, produtividade e característica dos grãos produzidos. Geralmente estes programas não visam a melhoria da contribuição da fixação biológica N_2 para o favorecimento do crescimento vegetal e da produção de grãos da cultura de feijão-caupi.

No Brasil, o programa de melhoramento do feijão-caupi, coordenado pela Embrapa Meio-Norte, tem como principais objetivos o desenvolvimento de cultivares com porte adequado à exploração pela agricultura familiar e empresarial; o incremento da produtividade e da resistência a estresse hídrico; o aumento dos teores de proteína, ferro e zinco e a melhoria da qualidade visual e culinária dos grãos (FREIRE FILHO, 2011) desconsiderando, portanto, o potencial da contribuição da simbiose fixadora do N_2 atmosférico.

5.5.2 Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes rizobianas isoladas Área 3 - Fazenda Formigueiro - Irauçuba-CE.

As estirpes selecionadas e autenticadas da Área 3 de exclusão e superpastejo também foram testadas em relação à eficiência simbiótica relativa fixadora do nitrogênio atmosférico para a cultura do feijão-caupi (Tabela 9).

Tabela 9 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Formigueiro, Irauçuba–CE.

Área 3- Fazenda Formigueiro	MSPA (g)	Efr (%)	TNPA (mg/Kg)	MSN (g)
Estirpe 8	33,65 B*	41 A*	3,46 A*	0,19 A*
Estirpe 9	34,32 B	38 A	0,09 D	0,14AB
Estirpe 10	36,40 B	39 A	1,39 B	0,16 A
Estirpe F11	37,52 B	39 A	1,34 B	0,14AB
Estirpe F12	24,42 C	22 B	1,35 B	0,10 B
Estirpe F13	32,55 B	38 A	1,35 B	0,18 A
C (+N -R)	74,07 A	-	0,77 C	Sem nódulos
C (-N -R)	5,82 D	-	1,34 B	Sem nódulos
CV (%)	8,80	5,12	4,52	20,44

*Valores seguidos por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).
Legenda: C (+N -R)=controle sem inoculação e com adição de nitrogênio; C (-N -R)= controle sem inoculação e omissão de nitrogênio; TNPA=Teor de nitrogênio na parte aérea; MSPA=Matéria seca da parte aérea; Efr (%) = eficiência relativa ao controle adubado com N mineral; MSN= matéria seca dos nódulos.

As seis estirpes rizobianas autenticadas e inoculadas nas plantas de feijão-caupi por ocasião da semeadura contribuíram para a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) com uma eficiência relativa (Efr) da fixação biológica do nitrogênio em relação ao controle adubado com N mineral (100 %), variando de 22 a 41 %.

O isolado 8 foi o que apresentou a maior Efr na fixação biológica de nitrogênio (41 %) e no TNPA, apresentando também maior produção de matéria seca dos nódulos. Entretanto não apresentou diferença estatística significativa em relação às estirpes 9, 10, 11 e 13 com relação à MSPA e Efr.

O estudo da eficiência fixadora de N_2 nas estirpes nativas das regiões semiáridas para cultura do feijão-caupi tem evidenciado a ocorrência de uma grande variabilidade funcional, fato esse possivelmente relacionado a alta capacidade dessa espécie vegetal em associar-se com diversas espécies de bactérias nativas do grupo rizóbio. Alcantara *et al.* (2014) também confirmou que, nas leguminosas, a fixação biológica de N_2 é bastante variável e depende das espécies das bactérias simbióticas testadas, tendo sido observado grande potencial para o aumento da contribuição deste processo biológico por meio de melhoramento genético em leguminosas.

O estudo destas bactérias simbióticas nativas apresenta grande importância ecológica e econômica, pois proporciona uma seleção de estirpes nativas eficientes e

adaptadas às condições ambientais da região semiárida. De acordo com Leite (2011) a prospecção de bactérias simbióticas que nodulam o feijão-caupi representa uma estratégia importante na região semiárida, pois é a etapa inicial para seleção de estirpes eficientes para produção de inoculantes para uso biotecnológico. Este aspecto é fundamental nos sistemas de produção agrícola onde o aporte de tecnologia é baixo, como ocorre nas áreas de produção familiar.

A associação simbiótica de feijão-caupi com bactérias fixadoras de N_2 pode aumentar a produtividade e diminuir os custos de produção em virtude da redução do uso de fertilizantes nitrogenados Soares *et al.* (2006). No entanto, as estirpes selecionadas em casa de vegetação podem não apresentar o mesmo potencial de fixação no campo em virtude de fatores ambientais adversos, como competição com populações nativas rizobianas, adaptações às condições ambientais locais (temperatura, umidade e pH) e à própria promiscuidade do feijão-caupi. Santos *et al.* (2007) descreve que condições ambientais adversas (temperatura ou baixa precipitação) podem afetar a sobrevivência e a eficiência dos rizóbios em ambientes de clima semiárido

5.5.3 Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes rizobianas isoladas da Área 4 - Fazenda Cacimba Salgada - Irauçuba-CE.

Em relação à Área 4, a adubação nitrogenada mineral produziu os maiores valores de matéria seca da parte aérea das plantas (Tabela 10). Todas as estirpes rizobianas induziram a formação de nódulos nas raízes principais das plantas de feijão-caupi inoculadas.

Tabela 10 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Cacimba Salgada, Irauçuba–CE.

Área 4 Fazenda Cacimba Salgada	MSPA (g)	Efr (%)	TNPA (mg/Kg)	MSN (g)
Estirpe 14	1,33 B*	38 A*	37,72 B*	0,10 A*
Estirpe 15	1,20 B	34 A	36,70 B	0,12 A
Estirpe 16	1,20 B	34 A	36,67 B	0,12 A
Estirpe 17	0,76 C	22 B	31,62 C	0,11 A
C (+N -R)	3,46 A	-	74,27 A	Sem nódulos
C (-N -R)	0,09 D	-	5,67 D	Sem nódulos
CV (%)	7,66 %	11,36 %	3,78 %	34,54 %

*Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).
Legenda: C (+N -R)=controle sem inoculação e com adição de nitrogênio; C (-N -R)=controle sem inoculação e omissão de nitrogênio; TNPA=Teor de nitrogênio na parte aérea; MSPA=Massa seca da parte aérea; Efr (%)=eficiência relativa ao controle adubado com N mineral; MSN=Massa seca dos nódulos.

O tratamento controle não inoculado e não adubado com N mineral não apresentou nodulação radicular, resultado que influenciaram nos baixos valores de nitrogênio total e massa seca da parte aérea. O tratamento controle não inoculado adubado com nitrogênio mineral também não apresentou nodulação radicular, embora tenha apresentado os maiores valores de MSPA e TNPA.

As quatro estirpes rizobianas autenticadas e inoculadas nas plantas de feijão-caupi por ocasião da semeadura contribuíram de forma variável para a produção de MSPA, apresentando uma Efr variando de 22 a 38 a % em relação ao controle adubado com N mineral (100 %). Nascimento *et al.* (2010) obtiveram isolados de rizóbios nativos capazes de promover crescimento em feijão-caupi equivalente àquele apresentado por plantas que recebiam adubação com N mineral ou mesmo inoculação com estirpes comercialmente recomendadas.

As estirpes 14, 15 e 16 foram as que mais contribuíram para a produção de MSPA, um maior TNPA e Efr, enquanto a estirpe 17 foi a que menos contribuiu, apresentando diferença estatística significativa em relação ao controle absoluto não adubado e não inoculado com rizóbio como também com as demais estirpes (14, 15 e 16).

Em relação a MSN podemos observar que as estirpes 14, 15, 16 e 17 não apresentaram diferença estatística significativa. Outro aspecto relevante na avaliação da eficiência dos isolados rizobianos nativos foi o posicionamento dos nódulos, os quais estavam

formados predominantemente nas raízes principais das plantas hospedeiras. A distribuição dos nódulos ao longo das raízes principais pode ter favorecido um maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea das estirpes 14, 15 e 16, distribuição nodular indicativa de maior eficiência fixadora do N₂.

5.5.4 Avaliação da eficiência simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico de estirpes rizobianas isoladas da Área 5 – Fazenda Cacimba Salgada, Irauçuba–CE.

Na Área 5 foram testadas somente duas estirpes pois, no isolamento de estirpes dessa área, foram autenticadas e selecionadas apenas 2 estirpes da área de exclusão. De acordo com os resultados pode-se observar que a adubação nitrogenada mineral produziu os maiores valores de MSPA das plantas. Os tratamentos controle, não inoculados, não apresentaram nodulação radicular (Tabela 11).

Tabela 11 – Matéria seca da parte aérea, eficiência da fixação simbiótica relativa do nitrogênio atmosférico, teor de nitrogênio da parte aérea e matéria seca de nódulos e em feijão-caupi inoculado com estirpes de rizóbios provenientes de áreas de exclusão de animais e superpastejo. Fazenda Cacimba Salgada, Irauçuba–CE

Área 5 Fazenda Cacimba Salgada	MSPA (g)	Efr (%)	TNPA (mg/Kg)	MSN (g)
Estirpe 18	1,65 B*	56 A*	39,16 B*	0,96 A*
Estirpe 19	1,44 C	49 B	29,26 C	0,14 B
C (+N -R)	2,95 A	-	40,18 A	Sem nódulos
C (-N -R)	0,96 D	-	10,92 D	Sem nódulos
CV (%)	1,57	2,32	1,00	4,14

*Valores seguidos por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).
Legenda: C (+N -R)=controle sem inoculação e com adição de nitrogênio; C (-N -R)=controle sem inoculação e omissão de nitrogênio; TNPA=teor de na parte aérea; MSPA=matéria seca da parte aérea; Efr (%)=eficiência relativa ao controle adubado com N mineral; MSN=matéria seca dos nódulos.

As estirpes testadas induziram a formação de nódulos nas raízes principais das plantas inoculadas com interior apresentando coloração rósea intensa pela presença da leghemoglobina, substância responsável pelo transporte de oxigênio para os micro-organismos simbióticos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A estirpe 18 autenticada e inoculada nas plantas de feijão-caupi por ocasião da semeadura contribuiu para uma eficiência relativa de 56 % em relação ao controle adubado com N mineral (100 %) e, ainda, na fixação de N₂ nas plantas de feijão-caupi coletadas aos 45

dias após a semeadura. Esta mesma estirpe também induziu um acréscimo na produção de MSPA e MSN, diferindo estatisticamente da estirpe 19.

Estes resultados são similares aos obtidos por Fernandes *et al.* (2003) os quais isolaram estirpes de rizóbios nativas capazes de promover o crescimento vegetativo, aumentar o teor de nitrogênio total na parte aérea e a nodulação nas raízes em feijão-caupi. Os resultados encontrados no presente trabalho corroboram com os encontrados por Nascimento *et al.* (2010), na avaliação da eficiência biológica de 21 estirpes nativas na fixação de N₂ atmosférico também em feijão-caupi.

A eficiência biológica do nitrogênio (FBN) representa um papel importante para o suprimento e complemento de nitrogênio durante o ciclo do feijão-caupi, principalmente no período de desenvolvimento da cultura, pois é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura. De acordo com Rumjanek *et al.* (2006) a FBN é reconhecidamente importante em feijão-caupi, pois quando associado a estirpes de rizóbios eficientes a cultura pode atingir níveis mais elevados de produtividade. Os mesmos autores observaram ainda que, com a inoculação da estirpe BR 3267 para a cultura do feijão-caupi, houve um incremento de até 40 % em condições de campo e de até 52 % em áreas de agricultores experimentadores.

5.6 Estudo da Diversidade de Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMA) em Áreas de Exclusão de Animais e Superpastejo em Irauçuba-CE.

Os sistemas de manejo e o uso intenso das áreas avaliadas afetaram a densidade de esporos de FMA no solo das áreas de exclusão e superpastejo. De acordo com a tabela 12 pode-se observar que as áreas de exclusão de animais apresentaram maiores densidades de esporos de FMA no solo em relação às de superpastejo. Estes resultados eram esperados uma vez essas áreas de exclusão permaneceram em repouso desde o ano de 2000, proporcionando uma regeneração da vegetação nesses locais, principalmente de jurema-preta e estilosantes.

Tabela 12 – Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares por 100 g de solo das áreas de exclusão de animais e superpastejo do município de Irauçuba-CE.

Densidade de esporos de FMA por 100 g de solo	Área 1*	Área 3*	Área 4*	Área 5*
Exclusão	1.430	1.570	3.730	2.110
Superpastejo	753,0	630,00	1.560	1.290

FMA=fungos micorrizicos arbusculares; *Valores médios.

É possível que o maior número de esporos de FMA nas áreas de exclusão de animais esteja relacionado com a densidade e o tipo de cobertura vegetal presentes nas áreas (jurema-preta e estilosantes). De acordo com Moreira; Siqueira, 2006 os FMA estabelecem relação simbiótica mutualística com raízes de angiospermas, gimnospermas, além de alguns representantes das briófitas e pteridófitas, pois eles dependem da simbiose com plantas compatíveis para sua multiplicação e perpetuação das espécies no solo.

Carneiro *et al.* (1999), estudando o comportamento de forrageiras associadas com fungos micorrizicos arbusculares em áreas degradadas, constataram que a leguminosa estilosantes apresentou uma maior capacidade multiplicadora de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo. Essa alta capacidade multiplicadora de esporos de FMA dessa espécie vegetal pode ser atribuída ao fato da sua elevada dependência micorrizica constatada por Vilela *et al.* (2014).

Outro fator relacionado para a maior ocorrência de esporos de FMA nas áreas de exclusão de animais poderia ser a época de amostragem do solo (período chuvoso) e a presença de raízes de leguminosas, principalmente na camada de 0 - 20 cm, pois é a região de maior predominância de esporos em consequência da obrigatoriedade de um hospedeiro para a sua multiplicação e finalização do seu ciclo de vida, caracterizando a associação obrigatória (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Mello *et al.* (2012) descrevem que essa variação no número de propágulos de FMA reflete diferenças não apenas na comunidade vegetal e de fungos mas, principalmente, em relação à composição química e uso do solo, visto que os esporos de micorrizas arbusculares são estruturas de resistência. A composição química dos solos é um fator que afeta a formação e as funções dos fungos micorrizicos arbusculares no solo. O pH da solução do solo afeta a associação micorrízica, seja pelos efeitos direto sobre a permeabilidade das membranas do fungo e da planta, como pelos indiretos afetando a disponibilidade dos nutrientes. FMA têm sido encontrados em solos com pH variando de 2,7 a 9,2, dependendo da espécie do fungo (Silveira, 1992).

Em relação a menor densidade de esporos encontrados nas áreas de superpastejo, pode-se observar que mudanças intensas no uso do solo ocasionaram prejuízos nas características químicas e biológicas do solo, além de favorecer os processos erosivos da camada superficial. Almeida *et al.* (2012), ao estudarem essas áreas do município de Irauçuba-CE, registraram uma maior perda de solo nas áreas de superpastejo em comparação com as áreas de exclusão de animais. Neste caso, atribui-se a menor densidade de esporos de FMA nas áreas de superpastejo à perda da camada superficial do solo pelos processos erosivos e a ausência da cobertura superficial, a qual apresenta-se como o principal

reservatório de esporos de FMA que, no caso de erosão, são perdidos juntamente com o solo (DAY *et al.*, 1987).

Lima *et al.* (2007) observaram os efeitos negativos do aumento da degradação do solo em propágulos de FMA, principalmente nas camadas superficiais (0 - 7,5 cm) em áreas semiáridas do nordeste brasileiro. Carneiro *et al.* (2010) relacionam a quantidade de esporos nativos de micorrizas arbusculares com a qualidade da cobertura vegetal existente na área, com os tipos de solo (arenosos ou argilosos) e com as práticas agrícolas empregadas no solo. Os mesmos autores reforçam ainda que os menores números de esporos de FMA têm sido encontrados em solos com vegetação degradada, fato ocorrido nas áreas de superpastejo (degradadas) nesse estudo. Barea (2011) afirma que o manejo e uso intenso do solo nos ecossistemas semiáridos podem influenciar de forma negativa a densidade populacional e a diversidade de espécies de FMA nativas no solo.

Outro aspecto importante observado durante este estudo foi a predominância dos gêneros *Glomus* e *Scutellospora*, ressaltando-se a ocorrência de esporocarpos do gênero *Glomus* no solo, principalmente nas áreas de superpastejo, possivelmente em decorrência do grau de degradação do solo pelo uso intenso dos animais na área.

O gênero *Glomus* apresentou o maior número de esporos nos solos das quatro áreas em estudo. O histórico das áreas, o uso intenso do solo e a baixa diversidade da cobertura vegetal pode ter proporcionado a predominância dos gêneros *Glomus* e *Scutellospora* nas áreas de exclusão de animais e de superpastejo, ocasionando uma baixa diversidade de esporos de outras espécies de FMA, motivado pela pressão de seleção, considerando-se o ambiente peculiar da Caatinga e o uso intenso do solo.

Vários trabalhos relatam a dominância de *Glomus* em solos do semiárido brasileiro (PEREIRA; MAIA, (2008); BEZERRA *et al.* (2010b); MELLO *et al.* (2012)), reforçando os resultados encontrados neste estudo, uma vez que *Glomus* foi o gênero com maior densidade de esporos, caracterizando sua maior capacidade de adaptação em solos sob condições adversas de temperatura, baixa umidade, pH e baixa fertilidade.

De acordo com Mello *et al.* (2012) os FMA são componentes comuns da microbiota edáfica na região semiárida brasileira, com espécies de *Glomus* sempre predominando neste ambiente.

Os esporos de *Glomus* observados nesse estudo apresentavam geralmente coloração variando de amarelo claro, castanho-claro a marrom-escuro, com formação globosa e sub-globosa e parede espessa, apresentado tamanho variando de 272,4 a 359,07 μm . Em

relação aos esporocarpos deve ser ressaltado que a ocorrência predominante ocorreu nas áreas de superpastejo, os quais continham, em média, 27 esporos de *Glomus* sp, apresentando coloração marrom-escuro e parede espessa. O gênero *Scutellospora* apresentava-se com a coloração variando de laranja-marrom a vermelho-marrom, com formação globosa, escudo germinativo e parede espessa, com tamanho variando entre 149 a 204 μm .

5.7 Respirometria Basal do Solo (RBS) nas Áreas de Exclusões de Animais e de Superpastejo, Irauçuba-CE.

Na tabela 13 são apresentadas as médias da respiração basal do solo, em que observa-se valores muito próximos entre as áreas de exclusão de animais e superpastejo para cada área de estudo.

Tabela 13 – Médias da produção de C-CO₂ microbiano em amostras de solo em áreas de exclusão de animais e superpastejo. Irauçuba-CE.

mg C-CO ₂ 100 g solo ⁻¹ .	Área 01*	Área 03*	Área 04*	Área 5*
Exclusão	12,00	9,79	10,68	11,01
Superpastejo	8,72	9,11	9,72	9,54

mg C-CO₂ 100 g solo⁻¹=respiração basal do solo; *Valores médios.

As áreas de superpastejo apresentaram uma produção de C-CO₂ próxima a das áreas de exclusão de animais, ao contrário das expectativas. Isso possivelmente pode ser explicado pelas áreas de superpastejo estarem submetidas a um estresse intenso e contínuo (processos erosivos, radiação solar, pisoteio e esgotamento da vegetação pelo consumo intenso dos animais) e, dessa maneira, estimulando a biomassa microbiana do solo a degradar mais rapidamente a pouca matéria orgânica existente no solo.

De acordo com Nunes *et al.* (2009) deve-se ter cuidado na interpretação dos resultados da respiração do solo, uma vez que a liberação elevadas quantidades de C-CO₂ tanto podem ser resultantes de acúmulo de matéria orgânica no solo, suscetível à decomposição e com conseqüente liberação de nutrientes para as culturas, como pode ser reflexo de um consumo intenso de carbono oxidável pela população microbiana para a sua manutenção, o que pode ocorrer quando a biomassa microbiana encontra-se sob condições críticas de estresse biótico e abiótico. Parkin *et al.* (1996) também relatam os cuidados com a interpretação dos dados de C-CO₂ liberado a partir da atividade microbiana do solo pois, segundo os autores, elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, pois a curto prazo pode significar liberação de nutrientes para as plantas e, a longo prazo,

perda efetiva de C orgânico do solo para a atmosfera. Dessa forma, elevados valores de C-CO₂ podem indicar tanto situações de distúrbio quanto de alto nível de produtividade do sistema (ISLAM; WEIL, 2000). Entretanto, Fialho *et al.* (2006) encontraram resultados diferentes ao observarem uma maior produção de C-CO₂ em área de mata natural em relação à área de cultivo. Provavelmente tais diferenças estão associadas às críticas e distintas condições climáticas e de degradação às quais o solo das áreas de estudo estavam submetidos. Yong-Zhong *et al.* (2006) observaram que as propriedades biológicas do solo, incluindo a atividade de algumas enzimas e a respiração basal do solo, melhoraram após dez anos de exclusão de animais das áreas de pastejo, sugerindo que essas áreas degradadas estejam sendo recuperadas lentamente.

Apesar da existência de poucos trabalhos (CUNHA FILHA, 2011) de monitoramento biológico do solo das áreas de Irauçuba-CE, pode-se sugerir que, inicialmente, mudanças nas práticas de manejo do solo nessas áreas de exclusão e animais e superpastejo influenciam a quantidade, a qualidade e a liberação de nutrientes da matéria orgânica para o sistema, o que influencia na produção de C-CO₂ nessas áreas.

Outro aspecto a ser considerado é a qualidade e quantidade do material orgânico depositado nas áreas avaliadas, tendo em vista que nas áreas de exclusão de animais o aporte do material orgânico em sua maioria é proveniente de deposições variadas (raízes, folhas, caules e flores) da leguminosa jurema-preta, a qual tem potencial tanífero (BEZERRA *et al.*, 2010), pois o taninos compreendem uma classe de compostos orgânicos complexos de difícil degradação, cuja concentração química difere consideravelmente entre as espécies de plantas. De acordo com Kraus *et al.* (2003) as consequências ecológicas de níveis elevados de taninos podem incluir respostas alelopáticas, alterações na qualidade do solo, redução da produtividade do ecossistema e afetar os tipos e distribuição de micro-organismos presentes no solo. Já nas áreas de superpastejo, o aporte de matéria orgânica está relacionado principalmente aos excrementos dos animais presentes na área, o qual vai contribuir para a ciclagem de nutrientes no solo, favorecendo a fertilidade e a disponibilidade de nutrientes para as plantas e micro-organismos presentes nas áreas pastejadas (KUZT; O'REILLY; TUNNEY, 2006).

6 CONCLUSÕES

As atuais práticas de manejo do solo empregadas nas áreas de exclusão de animais (pousio) favoreceram a presença de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares no solo em decorrência da preservação da vegetação e da conservação da camada superficial do solo.

As estirpes de rizóbios nativas isoladas e testadas das Áreas 1 e 5 estabeleceram simbiose com feijão-caupi, demonstrando uma eficiência fixadora do N_2 razoável, podendo ser utilizadas em futuros ensaios de competição.

A ausência de práticas conservacionistas nas áreas de superpastejo dos solos do município de Irauçuba-CE afetaram negativamente a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.

Evidencia-se a necessidade de continuar os estudos nessas áreas (exclusão/superpastejo) em relação às propriedades químicas e biológicas dos solos de Irauçuba-CE, para que se possa buscar alternativas para a redução dos efeitos negativos do processo de degradação observados nas áreas em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. I. DE; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S. DE.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.3, p.270-278, 2006.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). Integração lavoura □ pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.25-58, 2003.
- ALCANTARA, R. M. C. M. de.; XAVIER, G. R; RUMJANEK, N. G.; MAURISRAEL, de M. R.; CARVALHO, J. dos S. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 1-9, 2014.
- ALMEIDA, C. L. de.; OLIVEIRA, J. G. B. de.; ARAÚJO, J. C. de. Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, p.39-50, 2012.
- ALENCAR, V. B. de ; CRUZ, M. L. B. da. Impactos sócio- espaciais oriundos do processo de desertificação: a dinâmica das unidades geoambientais e suas consequências no município de Irauçuba-ce. **Revista Geonorte**, v.1, n.4, p.721 - 729, 2012.
- ALEXANDDER, M. Most probable number method for microbial populations. In: BLACK, C. A.; **Methods of Soil analysis - Chemical and microbiological properties**. Madison, American Society of Agronomy, v.2, p.1467-1472, 1965.
- ALEF, K. Soil Respiration. In: ALEF, K.; NANNPIERI, P. (Ed.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**, p.234-245, 1995.
- ALLEN, O. N. **Experiments in Soil Bacteriology**, 3 ed., 177p, 1957,
- ALENCAR, V. B. de; CRUZ, M. L. B. da. V. Impactos sócio- espaciais oriundos do processo de desertificação: a dinâmica das unidades geoambientais e suas consequências no município de Irauçuba-CE. **Revista geonorte**, v.1, n.4, p.721 - 729, 2012.
- ALI, S. F.; RAWAT, L. S.; MEGHVANSI, M. K.; MAHNA, S. K. Selection of stress-tolerant rhizobial isolates of wild legumes growing in dry regions of Rajasthan, India. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v.4, p.13-18, 2009.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. DE; NASCIMENTO, S. S. DO. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v.22, n3, p 126-135, 2009.
- ANDRADE, A. G. DE; TAVARES, S. R. DE L.; COUTINHO, H. L.da C.. Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. **Informe agropecuário**, v.24, n.220, p.5563,2003.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. 200 p. 2013.

- ARAÚJO FILHO, J. A. DE.; BENI DE, F.; LIMA DA, N.; BEZERRA, T. S. Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2, p.1-4, 2007.
- ARAÚJO, C. DE S. F.; SOUSA, A. N. DE; Estudo do processo de desertificação na caatinga: uma proposta de educação ambiental. *Ciência & Educação*. v. 17, n. 4, p. 975-986, 2011.
- AZEVEDO, R. L.; RIBEIRO, G. T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão Guandu: Uma Planta Multiuso. **Revista da Fapese**, v.3, n. 2, p. 81-86, 2007.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; SILVA, V. P. da; MORAES, A. DE; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. DOS; FRANCHINI, J. C.; GALERAN, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura pecuária floresta no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**.v.46, n.10, 2011.
- BARRETT, C.F.; PARKER, M. A.; Coexistence of Burkholderia, Cupriavidus, and Rhizobium sp. nodule Bacteria on two Mimosa sp. in Costa Rica. **Applied and Environmental Microbiology**, v.72, p.1198-1206, 2006.
- BAREA, J. M. Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. **Journal of Arid Environments**, v.75, p.1292-1301, 2011.
- BASTOS, V. J.; MELO, D. A.; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; SILVA, P. M. C. DA; TEIXEIRA JUNIOR, D. L. Avaliação da fixação biológica de nitrogênio em feijão-caupi submetido a diferentes manejos da vegetação natural na savana de Roraima. **Revista Agro@mbiente**, v. 6, n. 2, p. 133-139, 2012.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. In. FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de planta**. Sociedade brasileira de ciência do solo, 2006, p.53-88.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**, 7 ed., Editora Ícone, 2008, 355p.
- BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.DE; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B. DA; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão-caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v.40, n.5, p.1075-1082, 2010a.
- BEZERRA, M. E. DE J.; LACERDA, C. F. DE; SOUSA, G. G. DE; GOMES, V. F. F.; MENDES FILHO, P. F. Biomassa, atividade microbiana e FMA em rotação cultural milho/feijão-de-corda utilizando-se águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 562-570, 2010b.
- BEZERRA, F. G. S.; AGUIAR, K. R.; RODRIGUES, M. I. V.; LIMA, P. V. P. S.. Distribuição espacial do superpastejo de ovinos e caprinos no Brasil. In. SOBER 47º CONGRESSO-SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, p.1-16, 2009, **Resumo...** Porto Alegre, p.1-16, 2009.

BRASILEIRO, R. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v.5, n.5, 2009.

CARNEIRO, R. F. V. *et al.* Doses de fósforo e inoculação micorrízica no cultivo de estilosantes em solo sob condições naturais. **Archivos de zootecnia**, v. 59, n. 227, p. 416, 2010.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.34, n.9, p.1669-1677, 1999.

FREIRE, J. R. J. Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; SAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Editora: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1. Ed., 1992, 360p.

CHAGAS JÚNIOR, A. F.; OLIVEIRA, A. G.; REIS, H. B.; SANTOS, G. R.; CHAGAS, L. F. B.; MILLER, L. O. Eficiência da inoculação combinada de rizóbio e *Trichoderma* spp. em diferentes cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no cerrado (Savana Brasileira). **Revista de Ciências Agrárias**, v.37, n.1, p.20-28,2014.

CHAGAS JÚNIOR, A. F.; RAHMEIER, W.; FIDELIS, R. R.; SANTOS, G. R. DOS; CHAGAS, L. F. B. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão-caupi no Cerrado, Gurupi-TO. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 709-714, 2010.

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

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. DAS N.; LIMA, E. R. V. DE; NETO, A. R.; MOURA, GLAWBBER S. S. DE.; Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, n.1, p.64-72, 2014.

COSTA, E. M. da. Atividade biológica e caracterização de estirpes rizobianas de feijão-caupi isoladas de solo do município de Irauçuba/CE. 2013, 39. Monografia (Graduação em agronomia) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

COSTA, E. M.; NÓBREGA, R. S. A.; MARTINS, L.DE V.; AMARAL, F. H. C.; MOREIRA, F. M. DE S. Nodulação e produtividade de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. por cepas de rizóbio em Bom Jesus, PI. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 1-7, 2011.

CUNHA FILHA, L. S. da. **Efeitos da aplicação de tortas de pinhão manso e ma no crescimento do feijão-caupi e nas propriedades químicas e biológica de um solo degradado de Irauçuba-CE**. 2011, 66p. Dissertação, (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

D'ANDREA, A. F.; SOUSA, ANTÔNIO, C. DE; ROLIM, H. O.; LEITE, E. P. F.; D'ANDREA, R. M. S. Análise exploratória de atributos do solo em sistemas de manejo na

bacia do rio Cuiá, em João Pessoa-PB, empregando análise de componentes principais (PCA). **VII CONNEPI**, 8.p, 2012.

DAY, L. D.; SYLVIA, D. M.; COLLINS, M. E. Interactions Among vesicular-arbuscular mycorrhizae, soil, and landscape position. **Soil Sciencia Sociedade Ambiental**, v.51, p.635-639, 1987.

DIAS, R. L. F. **Intervenção Públicas e Degradação Ambiental no Semi-Árido Cearense (O Caso de Irauçuba)**. Dissertação, (Mestrado no Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

DIEL, D.; BEHLING, M.; FARIAS NETO, A. L. DE; ISERNHAGEN, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.49, n.8, p.639-647, 2014.

DÖBEREINER, J. A importância da fixação biológica de nitrogênio para agricultura sustentável. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 1, n. 01, 1997. Disponível em:<www.biotecnologia.com.br/revista/bio01/1hp_15.pdf>. Acesso em: 2012.

EMPRAPA - Empresa brasileira de agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 2. Ed., 212p, 1997.

EMBRAPA - Empresa brasileira de agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed., 306 p, 2006.

FIALHO, J. S. *et al.* Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n.3, p.250-257, 2006.

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

FREITAS, A. D. S. DE.; SILVA, T. O. DA.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. DE S. B.; ARAÚJO, E. R.; FRAGA, V. da S. Nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da caatinga cultivadas em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.9, p.1856-1861, 2011.

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

FUCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos – Mesorregião do Sul Cearense. 2012, 280 p.

GERDEMANN, J. W.; NICHOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n.6, p.1233-1253, 2011.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I.; **The water culture method of growing plants without soil**, 32p, 1950.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S.; Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. EMBRAPA, 1994, 552.p.

HUNGRIA, M.; STACEY, G. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia: basic aspects and potential application in agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.819-830, 1997.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v.65, p.151-164, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2012 Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=230610&idtema=121&search=ceara|iraucuba|pecuaria-2012> >. Acesso em: abril. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ- IPECE. Perfil Básico Municipal – Irauçuba. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Fortaleza- CE. 2011.

INVAM, International Culture Collection of (vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Morgantow, EUA: West Virginia University, 1998. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu>>. Acesso em maio, 2012.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.79, p.9-16, 2000.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatinga: características e uso agrícola no semi-árido brasileiro. In. ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV, DPS, p.95-133, 1996.

JEDDI, K.; CHAIEB, M. Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environments of South Tunisia. **Flora**, v.205, p.184-189, 2010.

JOHN, W. P.; KARL, F.; DEAN, D. R. Nitrogenase Structure and Function: A Biochemical-Genetic Perspective Department of Biochemistry and Anaerobic Microbiology, **Magazine Microbiology**, v.49, p.33-66, 1995.

KOTZÉ, E.; MEINEL, J. A. ; PREEZ, C. C. du; AMELUNG, W. Rangeland management impacts on the properties of clayey soils along grazing gradients in the semi-arid grassland biome of South Africa. **Journal of Arid Environments**, n. 97, p.220-229, 2013.

KIRIACHEK, S. G. AZEVEDO, L. C. B. de; Peres, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas Arbusculares. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p.1-16, 2009.

KRAUS, T. E. C.; DAHLGREN, R. A.; ZASOSKI, R. J. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems - a review. **Plant and Soil**, n. 256, p.41-66, 2003.

KURZ, I.; O'REILLY, C. D., TUNNEY, H. Impact of cattle on soil physical properties and nutrient concentrations in overland flow from pasture in Ireland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n.113, p.378-390, 2006.

LANDIM, R. B. T. V.; SILVA, D. F. DA.; ALMEIDA, H. R. R. DE C. Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de Possíveis Causas Climáticas e Antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.01, p.01-21, 2011.

LEITE, J. **Caracterização de bactérias nativas de solos do semiárido brasileiro isoladas de nódulos de feijão-caupi**. 2011, 51p. Dissertação, (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

LEWIS, G.P. **Legumes of Bahia**. Royal Botanic Gardens-Kew, 1987, 369 p.

LIMA, A. A. de.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; PASSOS, S. R.; PAULO, F. S. DE; NOSOLINE, S. M.; FARIA, S. M. DE; GUERRA, J. G. M.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Diversidade e capacidade simbiótica de rizóbios isolados de nódulos de mucuna-Cinza e mucuna-Anã. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.36, p.337-348, 2012.

LIMA, A. S.; NÓBREGA, R. S. A.; BARBERI, A.; SILVA, K. DA; FERREIRA, D. F.; MOREIRA, DE S. Nitrogen-fixing bacteria communities occurring in soils under different uses in the Western Amazon Region as indicated by nodulation of siratro (*Macroptilium atropurpureum*). **Plant Soil**, v. 319, p.127-145, 2009.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de M.; OLIVEIRA, M. K. T. O.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. de. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde Agroecologia Desenvolvimento Sustentavel**. v. 2, n.2, p.79-86, 2007.

LIMA, R. L. F. De A. *et al.* Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes em fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 31, n.2, p.257-268. 2007.

LIMA, A. S.; PEREIRA, J. P. A. R.; MOREIRA, F. M. S. Diversidade fenotípica e eficiência de estirpes de *Bradyrhizobium spp.* de solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1095-1104, 2005.

LI, X. R.; JIA, X. H. DONG, G. R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p.505-522. 2006.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. DE. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p.132-138, 2011.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989, 153 p.

LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R.; FORTES, C. A.; PINTO, J. C.; NETO, A. E. F.; SOUZA, R. M. DE Nodulação e produção de raízes do *estilosantes* mineirão sob efeito de calagem, silicatagem e doses de fósforo. **Ciência agrotécnica**, v. 35, n. 1, p. 99-107, 2011.

MAIA, G. N. **Caatinga árvores e arbustos e suas utilidades**. 2 .ed, 2012, p.333-341.

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

MARTINS, A. F.; VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; SAMPAIO, J. A. T.; ARAÚJO, J. H. B. DE; TURCATEL, A. T.; DIEMER, G. D.; SÁ, E. L. S. de. Diversidade genética, tolerância aos fatores de acidez e eficiência simbiótica de rizóbios para cornichão de solos do rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 35, p.1855-1864, 2011.

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

MELLO, C. M. A. de.; SILVA, I. R. da; PONTES, J. S. de; GOTO, B. T.; SILVA, G. A. DA; MAIA, L. C. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.26, n.4, p.938-943, 2012.

MEDEIROS, E. V. DE.; MARTINS, C. M.; LIMA, J. A. M.; FERNANDES, Y. T. D.; OLIVEIRA, V. R. DE.; BORGES, W. L. Diversidade morfológica de rizóbios isolados de caupi cultivado em solos do estado do Rio Grande do Norte. **Acta Scientiarum**, v. 31, n. 3, p. 529-535, 2009.

MENDES FILHO, P. F. Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano. 2004, 89 p, Tese de doutorado, da Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MENEZES, R.S.C. & SAMPAIO, E.V.S.B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no semi-árido Paraibano. *In: SILVEIRA, L.M.; PETERSEN, P. SABOURIN, E., orgs. Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido: Avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro, AS-PTA, 2002.p.249-260.

MOREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica do nitrogênio. *In: MOREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed., p.501-529, 2006.

MOREIRA, F. M. DE S.; SILVA, K. DA; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. DE
Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações.
Comunicata Scientiae. n.1, v.2, p. 74-99, 2010.

NASCIMENTO, L. R. S.; SOUSA, C. A.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.;
VIEIRA, I. M. M. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Eficiência de isolados de rizóbios nativos do
agreste paraibano em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 36-42,
2010.

NUNES, L. A. P. L *et al.* Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em
atributos biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 22,
n.1, p.131-140, 2009.

PAM/ IRAUÇUBA - Plano de ação municipal de combate a desertificação de Irauçuba.
Irauçuba, CE. v. 2, 40p. 2009.

PAN BRASIL. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos
efeitos da seca: PAN-Brasil, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos
Hídrico, 242p, 2004.

PARKIN, T. B.; DORAN, J.W.; FRANCO-P-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil
respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A., eds. **Method for assessing soil quality**. Madison,
Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e
liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Ciências Solo**, v. 32, n.3, p.
911-920, 2008.

PEI, S; FU, H. WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following enclosure and
grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems
and Environment**, p.1-7, 2007.

PEREIRA, C. M. R.; MAIA, L. C. Estudos da atividade microbiana do solo e da diversidade
de fungos micorrízicos arbusculares em áreas nativas do semi-árido utilizando métodos
taxonômicos tradicionais. **Anais..., Congresso de Iniciação Científica de Pernambuco**, 4p,
2008.

PINTO, R. M. da S.; CARVALHO, C. V.; ALVALÁ, R. C. dos S. Mapas de variabilidade
temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para
utilização em modelos meteorológicos. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento
Remoto**, Natal, Brasil, p. 6077-6083, 2009.

PROFFITT, A. P. B.; JARVIS, R. J.; BENDOTTI, S. The impact of sheep trampling and
stocking rate on the physical properties of a red duplex soil with two initially different
structures. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p.733-47, 1995.

QUEIROZ, L. P. de. **Leguminosas da caatinga**. 2009, 914p.

REIS, V. M.; OLIVEIRA, A. L. M.; BALDANI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. SBCS, Viçosa, 2006. 154-194p.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A. ; SCHMIDT, W. F. ; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v. 233, p. 167-177, 2001.

RIBEIRO, M.R.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GALINDO, I.C.L. Os solos e o processo de desertificação no Semi-árido brasileiro. In: RIBEIRO, M. R.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; CANTALICE, J. R. B. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do solo. v.6 p.413-450, 2009.

RODRIGUES, M. I. V. **A propensão à desertificação no estado do ceará: análise dos aspectos agropecuários, econômicos, sociais e naturais**. 2006.116f. Dissertação (Mestrado no curso de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

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

ROMERO, E. R.; FERREIRA, O. T. Morfologia e classificação dos solos predominantes no semiárido cearense. In: Andrade, E.; Pereira, O.; Dantas, E. **Semiárido e o manejo dos recursos naturais. Uma proposta de uso adequado do capital natural**. p. 24-35, 2010.

RUFINI, M.; Silva, M. A. P.da ; Ferreira, P. A.A.; Cassetari, A. de S.; Soares, B. L.; , Andrade, M. J. B. de ; Moreira, F. M. de S.; Symbiotic efficiency and identification of rhizobia that nodulate cowpea in a Rhodic Eutrudox. **Biol Fertil Soils**, v. 50, p.115- 122, 2014.

RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.;MORGADO, L. B.; NEVES, M. C. P. Feijão-caupi tem uma nova estirpe de rizóbios, BR3267, recomendada como inoculante. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. EMBRAPA-Agrobiologia, n.15, 2006.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO; E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. DA; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**, 2008, p. 7-16.

SADOWSKY, M. Soil stress factors influencing symbiotic nitrogen fixation. In: WERNER, D.; NEWTON, W. Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment. v. 4. Springer, Dordrecht, Netherlands. p. 89-111, 2005,

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Análise da degradação ambiental no núcleo de Irauçuba. In: SILVA, J. B.DA; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E; MEIRELES, A. J. DE A. Litoral e sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro, p. 201-209, 2006.

SAMPAIO, E. V.S.B.; ARAÚJO, M. DO S. B., SAMPAIO, Y. S.B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**. v.22, n.1, 2005.

SAMPAIO, D. B.; MENDES FILHO, P. F.; MASCENA, A. M.; GOMES, V. F. F.; GUIMARÃES, F. V. A. Colonização micorrizicas arbuscular e tolerância ao mal-do-panamá em mudas de banana-maçã. **Revista ciência agrônômica**, p.1-8, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, M. S. B. & SAMPAIO, G. R. Desertificação no Brasil. Editora Universitária, Recife. 2003.

SANTOS, M. P. dos. Fixação de N₂, solubilização de fosfato e produção de AIA por estirpes de *Bradyrhizobium* simbióticas em Angico vermelho e tamboril. 2013,70p. Dissertação, (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola) – Centro de ciências agrárias, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2013.

SANTOS, K. C. DOS; UCHÔA, S. C. P.; MELO, V. F.; ALVES, J. M. A.; ROCHA, P. R. R.; XIMENES, C. K. dos S. Inoculação com *Bradyrhizobium* e adubação nitrogenada em feijão-caupi cultivado em diferentes solos. *Revista Agro@mbiente On-line*. v. 8, n. 3, p. 306-317, 2014.

SANTOS, C. E. DE R. E.; STAMFORD, N. P.; NEVES, M. C. P.; RUNJANEK, N. G.; BORGES, W. L.; ROSEMBERG, V. B.; FREITAS, A. D.S. Diversidade de rizóbios capazes de nodular leguminosas tropicais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 2, n.4,f p.249-256, 2007.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi**, 2 ed, 1990. 241p.

SENE, G.; SAMBA-MBAYE; R.; THIAO, M.; KHASA, D.; KANE, A.; MANGA, A.; MBAYE, S.; SYLLA, S. N. The abundance and diversity of legume-nodulating rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungal communities in soil samples from deforested and man-made forest systems in a semiarid Sahel region in Senegal. **European Journal of Soil Biology**, v. 52, p. 30-40, 2012.

SILVA, A. B.; JUNIOR, M. A. L.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; FIGUEIREDO, M. DO V. B.; VICENTIN, R. P. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n.37, p.502-511, 2013.

SILVA JÚNIOR, E. B. da.; FERNANDES JÚNIOR, PAULO. I.; OLIVEIRA, P. J. de ; RUMJANEK, N. G.; BODDEY, R.T M.; XAVIER, G. R. Eficiência agrônômica de nova formulação de inoculante rizobiano para feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.138-141, 2012.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Editora: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1ª edição, p.258-282.1992.

SIQUEIRA. O. J.; ANDRADE, A. T.; FAQUIN, V. O papel dos micro-organismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas as plantas. In.YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 2004, p.117-156.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fixação biológica do nitrogênio atmosférico. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal Lavras, 2006. p.90-121.

SIQUEIRA, O. J.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. de A. *et al.* **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**, 2008, p. 495-524.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. 1994, 142p

SINGH, B. B. *et al.* **Advances in Cowpea Research**. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria and Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Ibaraki, Japan. JIRCAS 1997.

SINGLETON, P.W; BOHLOOL, B. B; NAKAO, P.L. **Legume response to rhizobial inoculation in the tropics: myths and realities**. In: Lal R, Sanchez PA (eds) *Myths and science of soils of the tropics*. Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, Madison, Wis., 1992, p.135-155.

SINGH, B. B.; EHLERS, J.D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMO, M. (Ed.). *Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production*. Ibadan: IITA, 2002. p. 22-40.

SOUSA, C. DA S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; LIMA, F. de S. Influências da temperatura de armazenamento e de extratores na determinação de glomalina em solos Paraibanos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 837-841, 2011.

SOUSA, F. P. de. Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso de Irauçuba, Ceará. 89p, 2009. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de ciências Agrárias. Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza, 2009.

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

TAVARES, R. C.; MENDES FILHO, P. F., LACERDA, C. F. DE.; SILVA, J. Colonização micorrízica e nodulação radicular em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 3, p. 409-416, 2012.

TAN. K. P.; BROUGHTON W. J. Rhizobia in tropical legumes-xiii. Biochemical basis of acid and alkali reactions. HYPERLINK "<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00380717>" \o "Go to Soil Biology and Biochemistry on ScienceDirect", v.13, p.389-393, 1981.

TEIXEIRA, F. C. P.; BORGES, W. L.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.

Characterization of indigenous rhizobia from Caatinga. **Brazilian Journal of Microbiology**, n.41, p. 201-208, 2010.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Micro-organismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V; COSTA, L. M (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. v. 2, 2002, p.195-276.

TRESEDER, K. K.; TURNER, K. M. Glomalin in Ecosystems. **Soil Science Society of America**, v. 71, p. 1257-1266, 2007.

VARGAS, M. A. T., HUNGRIA, M. Fixação biológica do N₂ na cultura da soja. In: Vargas, M.A.T., Hungria, M. (Eds.), **Biologia dos Solos de Cerrados**. EMBRAPA-CPAC, 1997, p. 297-360.

VINCENT, J. M. **A manual for the practical study of root-nodule bacteria**. Oxford, Blackwell Scientific, (International Biological Programme Handbook), 1970,164p.

VILELA, L. A. F.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; PAULINO, H. B.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, V. L. DA S.; CARNEIRO, M. A. C. Fungo micorrízico arbuscular na atividade microbiana e agregação de um Latossolo Vermelho de Cerrado submetido às sucessões de culturas. *Ciência Agrotecnica*. Lavras, v.38, n. 1, p.34-42, 2014.

VOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; MOKOCHINSKI, F.; GUILHERMETTI, P.; MOREIRA, V. Efeitos da adubação com dejetos suínos, cama de aves e fosfato natural na recuperação de pastagens degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 66 -71, 2013.

YONG-ZHONG, S.; YU-LIN, L.; JIAN-YUAN, C.; WEN-ZHI, Z. Influences of continuous grazing and live stock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. **Catena**, n. 59, p. 267-278, 2005.

YOKOTA, K., HAYASHI, M. Function and evolution of nodulation genes in legumes. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.68, p. 1341-1351, 2011.

ZILLI, J. É.; PEREIRA, G. M. D.; FRANÇA JÚNIOR, I.; SILVA, K. DA; HUNGRIA, M.; ROUWS, J. R. C. Dinâmica de rizóbios em solo do cerrado de Roraima durante o período de estiagem. **Acta Amazonia**, v.43, n.2, p. 153-160, 2013.

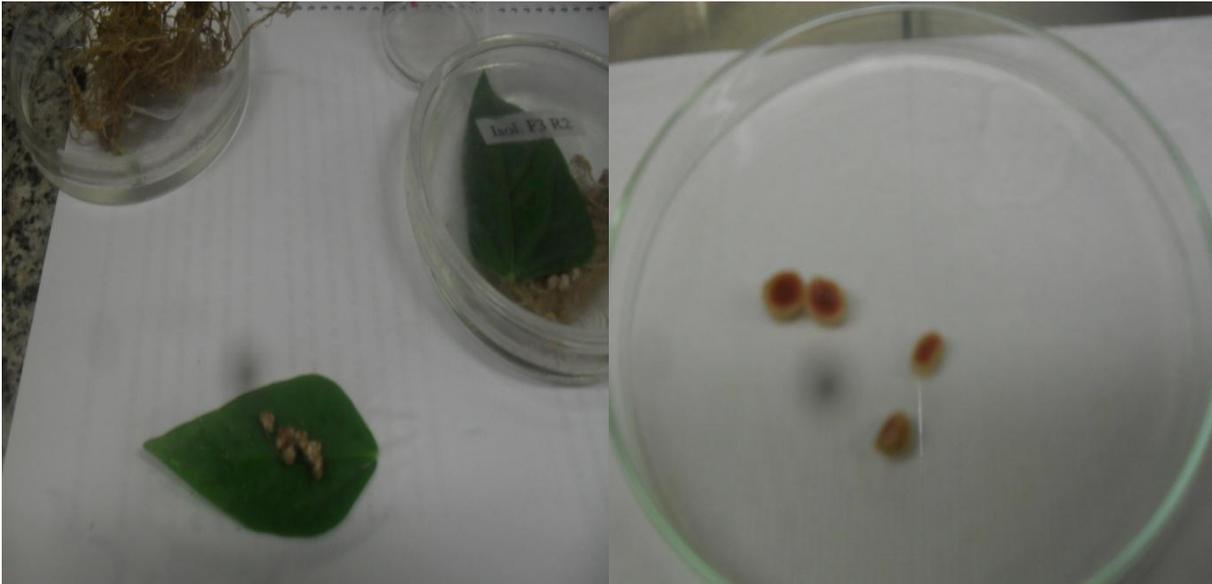
APÊNDICE A – FOTOS ILUSTRATIVAS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS



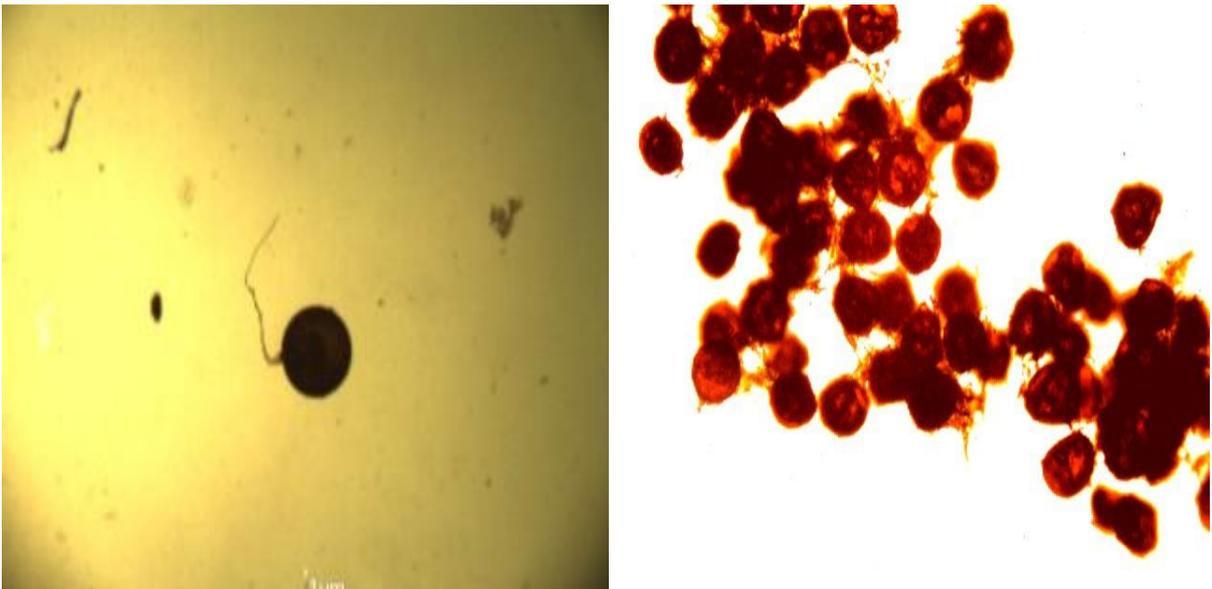
Isolamento das estirpes nativas de rizóbios dos solos das áreas de exclusão de animais e superpastejo do município de Irauçuba-ce.



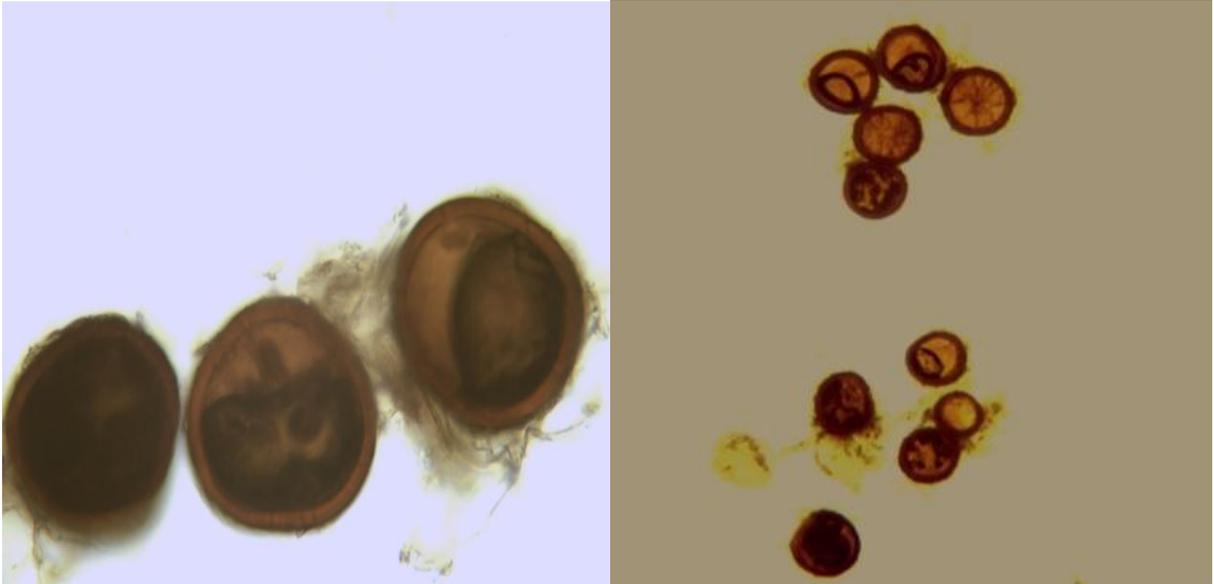
Experimento de eficiência fixadora do nitrogênio atmosférico. Plantas de feijão-caupi amarelada (ausência de rizóbios e adubação nitrogenada). Plantas com coloração verde intensa presença de inoculação com estirpes nativas.



Nódulos de plantas de feijão-caupi



Esporos de fungos micorrizicos arbusculares das áreas de exclusão de animais e superpastejo do município de Irauçuba-CE.



Esporos de *Glomus* (à esquerda) e esporocarpos de *Glomus* (à direita) das áreas de exclusão de animais e superpastejo do município de Irauçuba-CE.



Esporos de fungos micorrizicos arbusculares(*Scutellospora*) das áreas de exclusão de animais e superpastejo do município de Irauçuba-CE.