



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

**CILLAS POLLICARTO DA SILVA**

**CONTEÚDO DE PROTEÍNA DO SOLO RELACIONADA À GLOMALINA EM  
SOLOS DO MUNICÍPIO DE IRAUCUBA/CE E SUA RELAÇÃO COM A  
DEGRADAÇÃO**

**FORTALEZA**

**2015**

CILLAS POLLICARTO DA SILVA

**CONTEÚDO DE PROTEÍNA DO SOLO RELACIONADA À GLOMALINA EM  
SOLOS DO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA/CE E SUA RELAÇÃO COM A  
DEGRADAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: da Universidade Federal do Ceará-UFC, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho.

FORTALEZA

2015

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

---

S579c

Silva, Cillas Pollicarto da.

Conteúdo de proteína do solo relacionada à glomalina em solos do município de Irauçuba/CE e sua relação com a degradação / Cillas Pollicarto da Silva. – 2015.

48 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Pós-Graduação em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza, 2015.

Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho.

1. Solos-degradação. 2. Glicoproteínas. 3. Fungos do solo. I. Título.

---

CDD 631

**À MINHA MÃE E MEU PAI**

*Paula Francinete da Silva*

*Valdenir Antônio de Andrade*

Pelo amor, carinho, educação, princípios e pelo incentivo a lutar sempre pelos meus ideais.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus que me iluminou, pela vida, saúde, por todos os sonhos alcançados e oportunidades.

À minha família, em especial, aos meus pais, Paula Francinete da Silva e Valdenir Antônio de Andrade, vocês me ensinaram a discernir entre o certo e o errado. Também as minhas irmãs, Veruska Dalila de Andrade e Valquíria Dalila de Andrade, pelo amor e carinho durante esse longo tempo longe de casa.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Departamento de Ciências do Solo e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro através do concedimento da bolsa de estudo.

Ao professor orientador Paulo Furtado Mendes Filho, pela orientação, amizade, conhecimentos compartilhados e suporte para realização do trabalho.

Aos membros da banca avaliadora, Prof.<sup>a</sup> Vânia Felipe Freire Gomes e Prof. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez pela contribuição no trabalho.

Ao Prof. Jaedson Cláudio Anunciato Mota, pela amizade e conselhos de vida, além da grade ajuda concedendo o laboratório de física para a realização de parte das análises.

Ao Prof. José Gerardo Beserra de Oliveira, por ter concedido a área para realização dos estudos.

Aos amigos da UFC do curso de Pós-Graduação, Kaio, Carla, Danielle, Thiago, Elimário, Alcione, Isabel, Saialy, Zé filho, Ademir, André, Gleiciane, Dimitri, Crisanto, e Daniel, pelo companheirismo e convívio na sala de estudo, na UFC.

“Quando você acha que sabe todas as perguntas, vem a vida e muda todas as respostas.”

(Bob Marley)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa dos pontos de coleta de solo nas três áreas localizada em Irauçuba-CE.....	24
Figura 2 – Vista aérea das áreas onde foram coletadas as amostras de solo .....	25
Figura 3 – Foto da área experimental – exclusão e sua adjacência (superpastejo).....	26
Figura 4 – Tubos contendo 1 g de solo antes da extração da PSRG. ....	29
Figura 5 – Frascos contendo a PSRG no sobrenadante logo após a autoclavagem e centrifugação. ....	29
Figura 6 – Dissimilaridade entre os grupos estabelecida por distância euclidiana a partir dos atributos químicos: (pH, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> , P, CO, N); físico: (EA) estabilidade de agregado e biológicos: (DE) densidade de esporos e proteína do solo relacionada a glomalina (PSRG) (facilmente extraível-PSRG-FE e total-PSRG-T), em solos de três áreas: degradada (Superpastejo-SP), em manejo (Exclusão-EX) e mata nativa-MN, no município de Irauçuba-CE - 2015.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas do solo: granulometria e estabilidade de agregados em três áreas: superpastejo, exclusão e mata nativa no município de Irauçuba-CE. 2015 .....	27
Tabela 2 – Valores médios de atributos químicos do solo nas profundidades de 0-10 cm em áreas de superpastejo, exclusão e mata nativa no município de Irauçuba-CE. 2015 .....	28
Tabela 3 – Teores de $PSRG_{FE}$ e $PSRG_T$ ( $mg\ g^{-1}$ solo) em amostras de solo de área degradada (Superpastejo), em manejo (Exclusão) e mata nativa no município de Irauçuba – CE. 2015. ....	30
Tabela 4 – Estabilidade de agregados (EA) e densidade de esporos (DE) em amostras de solo de área degradada (Superpastejo), em manejo (Exclusão) e mata nativa no município de Irauçuba – CE. 2015. ....	32
Tabela 5 – Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos CI (pH, Ca, Mg, Al, P, CO, N, EA e DE) e CII ( $PSRG_{FE}$ e $PSRG_T$ ) referentes aos 21 pontos de estudo .....	34

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2. 1. Aspectos gerais da degradação de solos agrícolas.....	17
2. 2. Caracterização da área de estudo.....	19
2. 3. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de áreas degradadas .....	20
2. 4. A proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG).....	21
2. 5. 1. Contribuições da proteína do solo relacionada à glomalina .....	23
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3. 1. Localização da área de estudo .....	24
3. 2. Coletas do solo .....	25
3. 3. Análises físicas do solo .....	26
3. 4. Análises químicas do solo .....	27
3. 5. Densidade de esporos do solo.....	28
3. 6. Extração e quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) .....	28
3. 7. Análise estatística .....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
4. 1. Frações de PSRG em três áreas: superpastejo, exclusão e mata nativa.....	30
4. 2. Estabilidade de agregados e densidade de esporos em três áreas: superpastejo, exclusão e mata nativa.....	31
4. 3. Análise multivariada: correlações canônicas dos atributos químicos físicos e biológicos com as frações de PSRG.....	33
4. 4. Análise de agrupamento hierárquico referente a todas variáveis analisadas nas três áreas de estudo.....	36
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## RESUMO

Devido ao caráter sistemático das atividades antrópicas, combinado com as ações naturais, o problema da degradação do solo vem aumentando cada vez mais e causando um acentuado processo de desertificação, que resulta em perda de biodiversidade, erosão e carência da fertilidade do solo. À vista disso, a utilização de ferramentas que indiquem os estádios dessa degradação e recuperação se faz necessário, a fim de viabilizar um manejo adequado dessas áreas. Dessa forma, o estudo dos fungos micorrízicos arbusculares, como perspectiva de facilitar a recuperação de áreas degradadas, vem aumentando, especialmente pela produção da proteína do solo relacionada à glomalina, que é de grande importância para a estabilidade de agregados além de um grande potencial de utilização como indicador de qualidade do solo. Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar concentrações de proteína do solo relacionada à glomalina, correlacionando-as com os atributos químicos, físicos e biológicos em áreas do município de Irauçuba-CE, sendo elas: área degradada por superpastejo, área em processo de regeneração natural manejada por exclusão de animais domésticos e uma área de mata nativa caracterizada por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea. Foram feitas coletas de amostras deformadas de solo na profundidade de 0-10 cm em cada área e avaliados atributos dos FMA, tais como: densidade de esporos totais, teores de proteína do solo relacionada à glomalina, facilmente extraível e total ( $PSRG_{FE}$  e  $PSRG_T$ ); atributos químicos do solo (pH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , P, CO, N) e físicos (estabilidade de agregados). Os resultados obtidos com os testes de médias comprovaram que entre as três áreas, apenas a mata nativa apresentou diferenças significativas quanto às duas frações da proteína ( $PSRG_{FE}$  e  $PSRG_T$ ). Entretanto, no que diz respeito à densidade de esporos e estabilidade de agregados, a área de mata nativa e exclusão foram as que apresentaram os melhores valores médios. O conteúdo de PSRG, associada com outros atributos edáficos, contribui para discriminar a qualidade e monitoramento de áreas com diferentes níveis de degradação do solo em Irauçuba-CE. Na análise de agrupamento hierárquico pode-se verificar a formação de três grupos, comprovando-se a distinção da área de mata nativa com as áreas de superpastejo e exclusão, como também a similaridade dessas duas últimas áreas, indicando que existe a necessidade de mais tempo para que ocorram diferenças significativas entre essas áreas no que diz respeito a sua recuperação.

**Palavras-chaves:** glicoproteína, fungos micorrízicos arbusculares, área degradada.

## ABSTRACT

Due to the systematic nature of human activities, combined with the natural actions, the problem of land degradation is increasing more and more and causing a sharp process of desertification, which results in loss of biodiversity, erosion and lack of soil fertility. In view of this, the use of tools indicating the stages of this degradation and recovery is required in order to enable a proper management of these areas. Thus, the study of arbuscular mycorrhizal fungi, such as order to facilitate the recovery of degraded areas, has increased, especially for the production of soil-related protein to Glomalin, which is of great importance for the aggregate stability plus a large potential use as soil quality indicator. Therefore, this study aimed to evaluate soil protein concentrations related to Glomalin, correlating them with the chemical, physical and biological attributes in areas of Irauçuba-EC municipality, namely: area degraded by overgrazing, process area natural regeneration managed by exclusion of domestic animals and native forest characterized by vegetation shrub and tree savanna. They were made collections of deformed soil samples at a depth of 0-10 cm in each area and evaluated attributes of FMA, such as density of total spores, soil protein content related to Glomalin, easily extractable and total ( $PSRG_{FE}$  and  $PSRG_T$ ); soil chemical properties (pH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , P, CO, N) and physical (aggregate stability). The results obtained with the average tests showed that among the three areas, only the native forest showed significant differences in the two protein fractions ( $PSRG_{FE}$  and  $PSRG_T$ ). However, with respect to the spore density and stability of aggregates, the area of native bush and deletion showed the best average values. Content PSRG associated with other soil attributes, helps to distinguish the quality and monitoring of areas with different levels of soil degradation in Irauçuba-CE. In hierarchical cluster analysis can verify the formation of three groups, confirming the native forest of the distinction with the areas of overgrazing and exclusion, as well as the similarity of these last two areas, indicating that there is a need for more time that there are significant differences between these areas with respect to its recovery.

**Keywords:** glycoprotein, arbuscular mycorrhizal fungi, degraded area

## 1. INTRODUÇÃO

A retirada da vegetação natural nas regiões semiáridas do Nordeste Brasileiro e a intensa movimentação do solo aliada a longos períodos de estiagem promovem modificações físicas, químicas e biológicas no sistema. Essas modificações podem provocar acentuada degradação do solo, ocasionando sua exposição às ações do clima e conseqüentemente reduzindo seu potencial produtivo, podendo até causar danos irreversíveis ao ambiente, comprometendo os atributos do solo, especialmente no que se refere à microbiota edáfica e à renovação natural das espécies nativas da região. A revegetação do solo promove a recuperação e sua proteção através da distribuição e incorporação dos nutrientes, formando um novo ambiente para os organismos do solo, importantes para a formação e conservação de comunidades vegetais.

A atividade dos micro-organismos edáficos tem papel de destaque no processo de sucessão vegetal. Entre os membros mais influentes da microbiota do solo, auxiliando nos processos de recuperação das áreas degradadas, estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) os quais podem colaborar com as plantas sob condições inóspitas melhorando a absorção de nutrientes, em especial o fósforo. Os FMA são componentes essenciais dos ecossistemas, contribuindo para o estado de agregação de solos erodidos diminuindo, portanto, os riscos no avanço da degradação em áreas mais susceptíveis à desertificação.

A importância da diversidade e densidade de espécies de FMA não se limita apenas a sua capacidade de mobilizar nutrientes e de melhorar a agregação do solo, mas também podem ser considerados como uma ferramenta de medida da qualidade do solo. Nesse contexto, a produção da proteína do solo relacionada à glomalina produzida pelos fungos glomaleanos se destaca, não apenas por se constituir num importante componente do estoque de carbono do solo, mas também apresentando um grande potencial como um reforço na indicação da qualidade biológica do solo, aspecto ainda pouco considerado na avaliação da degradação.

Assim, testou-se a hipótese de que solos sob diferentes condições de degradação apresentam variações no conteúdo das frações de proteína do solo relacionada à glomalina e estas, quando associadas com outros atributos edáficos, reforçam sua inclusão como importante variável indicadora da qualidade no monitoramento da degradação do solo.

O presente estudo teve como objetivo avaliar concentrações de proteína do solo relacionada à glomalina, correlacionando-as com os atributos químicos, físicos e biológicos em áreas do município de Irauçuba-CE, sendo elas: área degradada por superpastejo, área manejada por exclusão de animais domésticos e por fim uma área de mata nativa.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2. 1. Aspectos gerais da degradação de solos agrícolas**

A degradação é um problema de dimensões globais, que é resultante de vários fatores que envolvem variações climáticas e atividades humanas. Dentre os processos de degradação do solo a erosão acelerada torna-se a forma mais grave da degradação das terras em todo o mundo, sendo definida como um processo de desprendimento, arraste e deposição das partículas do solo por um agente erosivo. De acordo com Drumond et al., (2004), o resultado do efeito acumulativo da degradação do ambiente, é considerado uma das causas principais da desertificação.

Segundo Moreira (2004) a degradação é um processo induzido pelo homem ou por acidente natural que diminui a atual e futura capacidade produtiva do ecossistema. Áreas fortemente degradadas podem ser classificadas como extensões naturais que perderam a capacidade de recuperarem-se de forma natural após sofrerem grandes alterações. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1989), a degradação do solo pode ser entendida como uma alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais, ou simplesmente, o decréscimo da qualidade do solo, causado por processos antrópicos. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA, 1990), afirma que a degradação ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil de solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização sócio-econômica da área.

As mudanças provocadas nos ecossistemas naturais ocorrem na medida em que elas vêm sendo substituídas por atividades voltadas para fins industriais ou produção de alimentos, acarretando degradação proveniente de uso e manejo impróprio dos solos (CENTORION et al., 2001).

Uma das principais formas de degradação do solo seria a remoção da vegetação natural ou seu uso intensivo, ações que promovem alterações físicas, químicas e biológicas no sistema comprometendo, conseqüentemente, a qualidade edáfica e o processo de regeneração natural das espécies nativas (SILVA et al., 2010). Essas mudanças impostas pelo homem aos ecossistemas em várias partes do mundo têm

alterado o ambiente geográfico de maneira que os danos provocados por essas alterações têm motivado um grande número de pesquisadores a estudar formas de recuperação dessas áreas alteradas. Nesse sentido, o solo acaba sendo um dos elementos do ecossistema mais estudados, uma vez que a sua recuperação, quando degradado, pode ser lenta e não facilmente reversível (ARAUJO et al., 2008).

Não é de hoje que o Brasil vem sofrendo com o problema da degradação do solo. Esse problema teve início no período colonial com o ciclo do pau-brasil e logo após com o ciclo do açúcar, do ouro e café, o que levou à formação de extensas áreas desmatadas e queimadas (GONÇALVES et al., 2003).

De acordo com Siqueira et al. (2008) existem três estratégias que são utilizados com o objetivo de reverter a degradação do solo, a saber: reabilitação, que é o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado; recuperação, que significa o retorno do sítio degradado a uma forma e utilização de acordo com o plano pré-estabelecido para o uso do solo; restauração, significando o retorno ao estado original do ecossistema, condição muitas vezes difícil de ser restabelecida (MAJER, 1989). Todas essas estratégias têm na revegetação sua principal forma de ação.

Atualmente são 200 mil km<sup>2</sup> de terras degradadas no semiárido brasileiro e, somando-se com as áreas onde o processo de desertificação já ocorre de forma moderada, o total de área atingida pelo fenômeno alcança, aproximadamente, 600.000 km<sup>2</sup>, ou seja, cerca de 1/3 de todo o território nordestino (PEREZ-MARIN et al., 2012).

O risco de ocorrência do fenômeno da desertificação no Brasil restringe-se ao semiárido, no qual suas características inconfundíveis como ocorrência de manchas de solo raso, afloramento rochoso e máxima desidratação, justificou o uso do termo Núcleos de Desertificação (VASCONCELOS, 1982). Esse problema abrange quase todas as áreas do semiárido, tornando terras que eram produtivas em improdutivas e, dessa maneira, afetando os setores da agricultura, pecuária, restringindo cada vez mais o desenvolvimento e a economia, além da qualidade da vida humana das áreas afetadas.

No Brasil são consideradas quatro regiões com baixa susceptibilidade à degradação, onde todas elas se encontram na região semiárida do Nordeste Brasileiro, tendo como localidades: Gilbués, Irauçuba, Seridó e Cabrobó.

## 2. 2. Caracterização da área de estudo

O estado do Ceará possui uma área territorial de aproximadamente 148 mil km<sup>2</sup> e pode ser considerado um dos melhores representantes da semiaridez nordestina, uma vez que apresenta cerca de 92% de seu território sujeitos às condições climáticas adversas. Por consequência apresenta os problemas típicos das áreas semiáridas, especialmente no que diz respeito àquelas susceptíveis à desertificação.

O município de Irauçuba/CE apresenta uma paisagem que reflete condições climáticas, geológicas e geomorfológicas peculiares, o que torna o seu aspecto mais seco do que as demais áreas inseridas no âmbito do semiárido cearense (SOUSA, 2009). A atividade econômica que predomina nessa região é a pecuária extensiva em condições de superpastejo, o que acaba resultando num impacto expressivo sobre esses ecossistemas devido a remoção de parte da biomassa vegetal ocasionando uma redução no aporte de serapilheira na superfície do solo, com consequências negativas para a conservação e a ciclagem de nutrientes (SALOMON et al., 2004). Nessas áreas esses problemas são mais intensos em função dos longos períodos de estiagens e as temperaturas usualmente elevadas.

O problema da degradação do solo nas regiões semiáridas é considerado grave, justificando-se a necessidade de mais estudos relacionados a avaliação dos aspectos físicos, químicos e biológicos desses solos, de maneira integrada, que dessa forma irão fundamentar a compreensão e o manejo dessas áreas degradadas. Na região do município de Irauçuba/CE onde foi conduzido o presente estudo, já estão sendo realizadas pesquisas com o intuito de se avaliar a recuperação de áreas degradadas e preservadas há mais de vinte anos através do monitoramento dos principais atributos químicos, físicos e biológicos, como também da recomposição da fauna e flora característica do local.

Segundo Brasil (1973), o levantamento de solos do estado do Ceará indica oito associações de solos na área de estudo que, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), se enquadram como Argissolos, Luvisolos, Neossolos e Planossolos. Os Planossolos, porém, representam 18,7% dos solos do município (MESQUITA et al., 1981). Nas áreas de exclusão onde foram coletadas as amostras de solos para o desenvolvimento desse projeto foram identificadas associações de Planossolos e Luvisolos, tendo como tipo de vegetação predominante a Caatinga.

### **2. 3. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de áreas degradadas**

Os primeiros relatos sobre micorriza surgiram por volta de 1885 pelo botânico alemão Albert Bernard Frank (BAGYARAJ, 1991). De acordo com a morfologia e anatomia, as micorrizas podem ser classificadas em dois grupos: as ectomicorrizas, em que a raiz do hospedeiro é recoberta externamente por um manto espesso de hifas, e a penetração do micélio interno no córtex da raiz é sempre intercelular, formando a chamada rede de Hartig. E as endomicorrizas, que caracterizam-se pela ausência do manto de hifas ao redor das raízes, mas com penetração inter e intracelular do micélio interno nas células do córtex formando unidades estruturais específicas conhecidas como arbúsculos e/ou vesículas. São de particular interesse nos trópicos onde a grande maioria dos solos apresentam baixa fertilidade e a formação de micorriza é importante para o crescimento e a sobrevivência das plantas, assim como para a sucessão vegetal e a recuperação das áreas degradadas (JANOS, 1996).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pertencentes ao filo Glomeromycota e classe Glomeromycetes, são simbioses obrigatórios que estabelecem relação mutualística com as raízes de plantas do grupo das Gimnospermas, Angiospermas e alguns representantes das briófitas e pteridófitas (SOUZA et al., 2010). Atualmente são descritos cerca de 19 gêneros, totalizando 220 espécies reconhecidas (OEHL et al., 2008; GOTO et al., 2010).

Os FMA representam um dos principais componentes da microbiota do solo na maioria dos agroecossistemas (SCHNEIDER et al., 2011). Proporcionam inúmeros benefícios aos seus hospedeiros, como por exemplo no aumento das tolerâncias à seca e à fitopatógenos, são importantes na absorção de nutrientes como fósforo (P), nitrogênio (N), cobre (Cu) e zinco (Z). Suas hifas extrarradiculares desempenham um papel fundamental na formação de agregados e na estruturação do solo por meio da produção de glomalina, uma glicoproteína que, entre outras funções, contribui mais efetivamente na cimentação das partículas do solo aumentando, assim, a estabilidade de seus agregados (JOHNSON et al., 2010; KABIR, 2005).

A conservação e reabilitação das terras degradadas são partes fundamentais do desenvolvimento agrícola sustentável e melhoria dos ecossistemas. A fim de recuperar as áreas degradadas, a revegetação é considerada uma prática muito importante (AL-KARAKI, 2011). No entanto, nas regiões semiáridas, longos períodos de estiagem

dificultam essa prática, deixando-o descoberto e exposto por mais tempo à ação dos agentes climáticos, reduzindo seu potencial produtivo e causando danos muitas vezes irreversíveis ao solo (TREVISAN et al., 2002; MENEZES et al., 2005). Portanto, a necessidade de melhoria da qualidade ambiental dessas áreas impulsionou as pesquisas no que diz respeito à associação entre o desenvolvimento vegetal e a atividade microbiana, fator importante na recuperação dos solos degradados.

Os fungos micorrízicos arbusculares são encontrados naturalmente nessas áreas (MASCHIO et al., 1992), nas quais são considerados ferramentas valiosas para os processos de reabilitação, pois a simbiose pode conferir inúmeros benefícios ao hospedeiro, exercendo grande influência no crescimento e na adaptação das plantas, incluindo a melhoria da nutrição mineral como também tolerância a doenças e estresses abióticos como a seca, salinidade e altas temperatura (AL-KARAKI, 2000).

Estudando as savanas semiáridas degradadas da África, Veenendaal (1991) verificou estratégias de adaptação de plantas, e constatou que a presença da simbiose com os FMA foi fundamental para o estabelecimento de espécies de gramíneas o que favoreceu na recuperação dessas áreas.

Pesquisas realizadas nas mais diversas situações de degradação (solos agrícolas, áreas desmatadas, áreas mineradas, solos contaminados por metais e produtos químicos) têm comprovado a importância e o potencial das micorrizas como agentes coadjuvantes na recuperação dessas áreas degradadas (BI et al., 2005; ZUQUETTE et al., 2013).

#### **2. 4. A proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG)**

A PSRG é uma substância hidrofóbica, termoestável e recalcitrante produzida pela decomposição das hifas dos FMA (SOUSA et al., 2012), podendo ser encontrada também em seus esporos e adsorvida nas raízes das plantas por eles colonizadas (RILLIG & MUMMEY, 2006). O significado da palavra glomalina tem como referência a ordem taxonômica Glomales na qual os FMA pertenciam na época do seu isolamento e caracterização bioquímica.

A PSRG, a princípio classificada como uma glicoproteína, é constituída por 60% de carboidratos que se unem à porção proteica por ligações glicosídicas do tipo N, apresentando aminoácidos alifáticos e aromáticos na cadeia peptídica. Comprova-se

também que o ferro está fortemente ligado a esta molécula (0,04-8,8%), que certamente é o cromóforo transmissor da cor vermelho amarronzada observada nos extratos (RILLIG et al., 2001; NICHOLS, 2003).

Essa glicoproteína pode conter de 3 a 5% de N e um teor significativo de C em torno dos 37%, tornando-se um constituinte importante no estoque de carbono do solo (LOVELOCK et al., 2004). De acordo com Wright & Anderson (2000) existe forte relação com a estabilidade de agregados do solo e a concentração de PSRG, melhorando assim a aeração do solo, drenagem e atividade microbiana, conseqüentemente promovendo uma melhoria da produtividade dos ecossistemas.

Genericamente existem dois tipos de PSRG: a facilmente extraível (PSRG<sub>FE</sub>), que representa a fração há pouco tempo depositada e que ainda não sofreu alterações bioquímicas no solo; e a PSRG total (PSRG<sub>T</sub>), que apresenta-se fortemente aderida às argilas sendo necessárias até sete extrações sequenciais para sua máxima remoção em alguns solos (WRIGHT et al., 1996; WRIGHT & UPADHYAYA, 1998).

Segundo Wright et al. (1996) a glomalina pode ser extraída do solo ou das hifas através do uso de citrato de sódio 20 mM pH 7,0 (para a PSRG<sub>FE</sub>) ou 50 mM pH 8,0 (para a PSRG<sub>T</sub>), por autoclavagem a 121 °C e 1 atm de pressão. O citrato exerce a função de quelante do ferro aliado à glomalina conseguindo remover a molécula adsorvida às partículas de argila, enquanto o sódio rompe as ligações de óxido de ferro e alumínio que existem entre os minerais de argila e a glomalina, colaborando com a solubilização desta molécula (WRIGHT et al., 2006). Foram Wright e Upadhyaya (1998) que propuseram o atual protocolo para extração e quantificação das frações de glomalina do solo.

A quantificação da PSRG normalmente é feita através de métodos bioquímicos de rotina para dosagem de proteína, como o método Bradford. Como também pode ser realizada através de técnicas imunológicas, como o método ELISA (Enzyme Linked Immuno Absorbent Assay), que tem como princípio a utilização de um anticorpo monoclonal MAb32b11 produzido a partir do macerado de esporos de *Glomus intraradices* injetado em camundongo, que reconhece o epítipo da glomalina apenas em FMA, não reagindo com outros fungos do solo (WRIGHT et al., 1996). Relatórios têm mostrado que os compostos polifenólicos, tais como taninos do solo e os ácidos húmicos, podem ser extraídos juntamente com a glomalina e interferir com a quantificação de Bradford (SCHINDLER et al., 2007). Levando em conta esse fato, para diferenciar adequadamente a proteína específica (glomalina) a partir da mistura de proteínas resultante da extração com citrato de sódio, Rillig (2004) propôs a utilização do termo

proteína do solo relacionada a glomalina (PSRG), para descrever a mistura extraída, ficando o termo “glomalina” reservado apenas para a proteína purificada.

### **2. 5. 1. Outras contribuições da proteína do solo relacionada à glomalina**

Segundo Purin & Rillig (2007) a glomalina provavelmente não está restrita apenas à melhoria da estabilidade de agregados do solo. Cornejo et al. (2008) comprovam que a glomalina pode ser um instrumento altamente eficiente no sequestro de metais pesados, fazendo com que seja reduzida a disponibilidade desses elementos para os organismos e plantas nesses solos contaminados. Purin & Rillig (2007) comprovaram ainda que a produção dessa glicoproteína por parte dos FMA aumenta em solos poluídos por elementos traços, isso provavelmente funcionando como um mecanismo para melhorar o ambiente onde se desenvolve o fungo simbiote. Bedini et al. (2009) demonstraram que as quantidades de Cu, Ni, Pb e Co ligada à GRSP foram de, respectivamente, 2, 3, 0,83 e 0,24 % do total do teor de metais pesados em solo contaminado, reduzindo assim a disponibilidade de elementos traços e, conseqüentemente, o estresse da planta por esses metais.

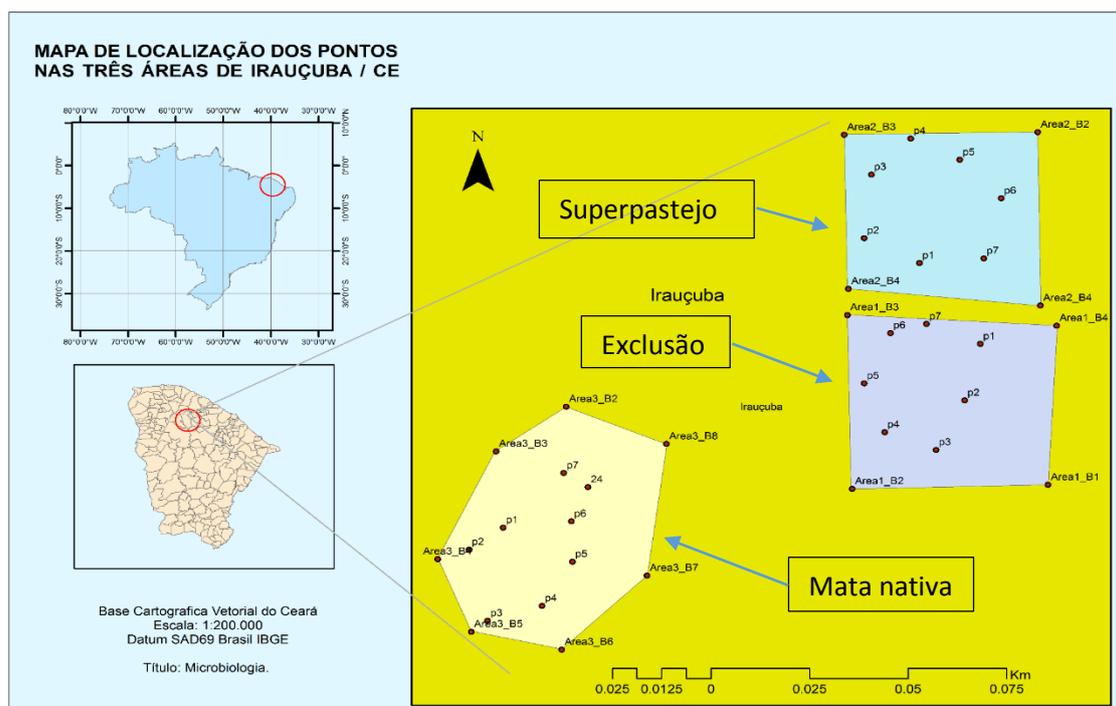
Outra contribuição da glomalina no solo seria no estoque de C e N, onde estima-se que entre 28 a 45% da molécula de glomalina seja carbono e presume-se que 0,9 a 7,3% seja de nitrogênio, evidenciando assim uma fonte desses elementos para a microbiota do solo (RILLIG et al., 2003; LOVELOCK et al., 2004; NICHOLS & WRIGHT, 2006). Lovelock et al. (2004) verificaram que o C e o N presentes na glomalina corresponderam a aproximadamente 3,2 e 5% do reservatório total de C e de N em dois solos na estação biológica de La Selva na Costa Rica. Essas diferenças na contribuição da glomalina vai variar de acordo com tipo de solo e como também do tipo do sistema de uso desses solos (SOUSA et al., 2012).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3. 1. Localização da área de estudo

O estudo foi realizado na área experimental do projeto “Estudos dos processos de Degradação/Desertificação e suas relações com o uso da terra em Sistemas de Produção no Semiárido cearense: O caso da microrregião de Sobral – Ceará”. A área está localizada na Fazenda Formigueiro no município de Irauçuba no sertão centro-norte do Estado do Ceará, integrante da microrregião de Sobral, posicionando-se nas coordenadas 03° 46’ 50’’ S e 39° 49’ 03’’ W (Figura 1). O município possui uma área de 1.451 km<sup>2</sup>, com altitude de 152,5 metros. O clima da região é semiárido, com temperatura e precipitação média anual de 26,3 °C e 530 mm respectivamente, concentradas basicamente em três meses do ano.

**Figura 1.** Mapa dos pontos de coleta de solo nas três áreas localizada em Irauçuba-CE.



Fonte: Modificada IBGE.

### 3. 2. Coletas do solo

As coletas do solo foram realizadas em três áreas com 0,25 hectares cada (Figura 2) e (Figura 3), e caracterizadas por diferentes níveis de degradação e recuperação, sendo: área de superpastejo, com pouca ou nenhuma vegetação natural e severa presença de erosão laminar; área de exclusão que permanece em processo de regeneração natural, livre da entrada animais domésticos, sendo cercada com nove fios de arame farpado e estaqueadas a cada metro; área de mata nativa, caracterizada por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea. Em cada área foram coletadas 07 amostras deformadas de solo, escolhidas por caminhamento em zigue-zague, aleatoriamente e georeferenciadas, a uma profundidade de 0-10 cm.

**Figura 2.** Vista aérea das áreas onde foram coletadas as amostras de solo.



Fonte: google maps.

**Figura 3:** Foto da área experimental – exclusão e sua adjacência (superpastejo)



Fonte: autor.

### 3. 3. Análises físicas do solo

As análises físicas conduzidas foram: estabilidade de agregados através do método por via úmida, que tem como princípio medir a quantidade e distribuição do tamanho dos agregados que são estáveis em água, relacionando-os com os que não desintegram pela tamisação; análise granulométrica, determinada pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986), com dispersão de 20 g de TFSA com hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . As areias foram separadas em peneiras de malha 0,053 mm de diâmetro e fracionadas segundo a classificação granulométrica de referência do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA). O silte e a argila foram separados por sedimentação, conforme a lei de Stokes.

**Tabela 1.** Características físicas do solo: granulometria e estabilidade de agregados em três áreas: superpastejo, exclusão e mata nativa no município de Irauçuba-CE. 2015.

Áreas/Tratamentos	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	EA (%)	Classificação
Superpastejo	77,87	10,01	12,12	74,43	Franco-arenosa
Exclusão	79,00	10,70	10,30	81,91	Franco-arenosa
Mata Nativa	68,54	15,14	16,32	85,43	Franco-arenosa

EA: estabilidade de agregados.

### 3. 4. Análises químicas do solo

As análises químicas das amostras de solo foram realizadas no Laboratório de Solo-Água-Planta do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde foram avaliados: pH (em H<sub>2</sub>O) pela medição com eletrodo combinado imerso em suspensão de solo; acidez potencial (H<sup>+</sup>Al<sup>3+</sup>) a qual foi obtida pela extração com solução tamponada de acetato de cálcio pH 7,0; alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) foi extraído com solução KCl e determinado volumetricamente com solução diluída de NaOH; bases trocáveis (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>) determinadas pelo método do KCl fósforo (P-disponível) sendo utilizada uma solução extratora (HCl 0,05 N e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N) como também uma solução ácida de molibdato de amônia diluída e ácido ascórbico em pó como redutor, tendo a leitura sido efetuada por fotolorimetria; matéria orgânica (MO) e o carbono orgânico e total (CO e COT) foram determinados por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub> 0,167 mol/l<sup>-1</sup>) em meio sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). O excesso de dicromato, após a oxidação foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>).6H<sub>2</sub>O 0,5 mol/l<sup>-1</sup> na presença do indicador difenilamina e posteriormente estimado o teor de matéria orgânica. Todas essas metodologias estão descritas pelo Manual de Métodos de Análise de Solo e Plantas da EMBRAPA (1997).

**Tabela 2.** Valores médios de atributos químicos do solo nas profundidades de 0-10 cm em áreas de superpastejo, exclusão e mata nativa no município de Irauçuba-CE. 2015.

Atributos Químicos	Áreas amostrais		
	Superpastejo	Exclusão	Mata Nativa
	0-10 cm		
pH (H <sub>2</sub> O)	4,96	5,00	5,69
Ca <sup>2+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	2,37	2,41	6,60
Mg <sup>2+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	2,07	1,79	3,37
Al <sup>3+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,37	0,10
H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	2,73	4,07	4,77
P (mg kg <sup>-1</sup> )	66,18	85,60	18,41
CO (g kg <sup>-1</sup> )	4,52	7,39	9,61
N (g kg <sup>-1</sup> )	0,64	0,77	1,09
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	7,78	12,70	16,53

### 3. 5. Densidade de esporos no solo

Das sete amostras de cada área foram retiradas 100 g de solo para a realização da extração dos esporos dos FMA, seguindo a técnica de peneiramento úmido (GERDERMANN & NICOLSON, 1963). Um conjunto de peneiras sobrepostas (com malhas variando de 850; 250; 100 e 45 µm) foram utilizadas para a extração dos glomerosporos totais. Em seguida os esporos foram quantificados em placa canaletada utilizando-se um microscópio estereoscópico ótico (40x).

### 3. 6. Extração e quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG).

A extração da PSRG foi realizada pelo método proposto por Wright & Upadhyaya (1998), em que foram extraídas as frações PSRG facilmente extraível - PSRG<sub>FE</sub>, obtida a partir da extração sequencial em autoclave, adicionando-se 1 g de solo (Figura 4) em 8 mL da solução tampão de citrato de sódio 20 mM (pH 7,0), a uma temperatura de 121 °C por 30 min, e a fração PSRG total – PSRG<sub>T</sub>, obtida por extração sequencial a partir de 1 g de solo adicionada a 8 mL da solução tampão de citrato de sódio 50 mM, (pH 8,0) a 121 °C, por 60 min. Em ambas as frações, posteriormente à autoclavagem, foram

realizadas centrifugações a 10000 rpm por 5 min, quando o sobrenadante foi removido para posterior quantificação da proteína (Figura 5). A quantificação da glomalina foi realizada pelo método Bradford (1976), usando-se como padrão a proteína a albumina bovina sérica. Nesse método foi utilizado o corante Comassie Brilliant Blue G-250 (CBB ou Reagente de Bradford), que tem a capacidade de formar complexos com as proteínas da solução causando uma modificação na absorbância, que é equivalente à quantidade de proteína presente (BRADFORD, 1976).

**Figura 4.** Tubos contendo 1 g de solo antes da extração da PSRG.



Fonte: autor.

**Figura 5.** Frascos contendo a PSRG<sub>FE</sub> no sobrenadante logo após a autoclavagem e centrifugação.



Fonte: autor.

### 3. 7. Análise estatística

Foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados pela comparação de médias, por meio do programa Assistat. Também foi testada a normalidade dos dados a 5% de probabilidade pelo teste de Shapiro-Wilk (W). Posteriormente os dados foram analisados com o uso de ferramentas da estatística multivariada por meio de análises de correlações canônicas, adotando-se dois grupos: O grupo um (I), variáveis relacionadas com atributos químicos físicos e biológicos (pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, P, CO, N, EA, DE), e o grupo (II), variáveis constituídas pelas duas frações de proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG<sub>FE</sub> e PSRG<sub>T</sub>). Outra ferramenta da estatística multivariada utilizada foi a análise de agrupamento hierárquico. Em todas as análises de multivariadas foram utilizadas o software Statistica<sup>®</sup> versão 7.0.

## 4. Resultados e Discussão

### 4. 1. Frações de PSRG nas três áreas: superpastejo, exclusão e mata nativa.

Os maiores valores médios de concentrações de PSRG<sub>FE</sub> e PSRG<sub>T</sub> foram encontrados na área de mata nativa (Tabela 2). Nas áreas de superpastejo exclusão não houve diferença estatística significativa entre as duas frações de PSRG.

**TABELA 3:** Teores de PSRG<sub>FE</sub> e PSRG<sub>T</sub> (mg g<sup>-1</sup> solo) em amostras de solo de área degradada (Superpastejo), em manejo (Exclusão) e mata nativa no município de Irauçuba-CE. 2015.

Áreas/Tratamentos	PSRG <sub>FE</sub>	PSRG <sub>T</sub>
Superpastejo	0,22b	0,18b
Exclusão	0,54b	0,44b
Mata nativa	0,93a	0,83a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Scott Knott ( $p < 0,01$ ).

Diversos autores sugerem que a deposição dessa proteína no solo se dá principalmente pela decomposição de hifas e esporos dos FMA (DRIVER; HOLBEN; RILLIG, 2005). Rillig et al. (2003) comprovaram também que as concentrações de PSRG

têm relação com a matéria orgânica no solo, pois quanto maior os teores de matéria orgânica maiores têm sido os valores encontrados de PSRG. No presente estudo a mata nativa foi a área que apresentou maiores valores médios na densidade de esporos (DE) (Tabela 4) e teores de matéria orgânica (MO) (Tabela 2), dessa maneira, o fato da mata nativa ter obtido maiores concentrações de PSRG, possivelmente pode ser atribuído a maior DE e aos teores de MO observados.

As demais áreas (superpastejo e exclusão) não apresentaram diferenças significativas quanto aos teores das duas frações de PSRG (Tabela 3). Entretanto, é importante ressaltar que a área de superpastejo apresentou os menores valores médios quantitativos de concentração das frações da PSRG, apesar da inexistência de significância estatística em relação à área de exclusão. Alguns autores afirmam que as atividades humanas como a retirada da vegetação natural e o uso de forma inadequado do solo, associado aos fatores climáticos intensidade luminosa e temperatura, prejudicam o desenvolvimento das hifas e esporos que são responsáveis pela produção da PSRG (MERCULHÃO, 2006; CARDOZO, 2011). A área de superpastejo estudada apresenta pouca ou nenhuma vegetação e um conseqüente processo de degradação, com presença de erosão laminar e inserida em um contexto de condições climáticas adversas, o que pode ter prejudicado a produção de micélio externo no solo, principal responsável pela síntese de PSRG.

Na área de exclusão foram observados maiores valores médios quantitativos nos teores das duas frações de PSRG comparado com a área de superpastejo, apesar da inexistência de significância estatística (Tabela 3). É importante notar que possivelmente a exclusão, por ser uma área em processo de regeneração natural com uma vegetação do tipo arbustiva arbórea e ter apresentado maiores valores médios na densidade de esporos e teores de matéria orgânica em relação a área de superpastejo, pode ter contribuído para estimular a ocorrência de FMA e, conseqüentemente, aumentar a deposição desta proteína ao solo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996).

#### **4. 2. Estabilidade de agregados e densidade de esporos nas três áreas: superpastejo, exclusão e mata nativa.**

Comparando-se as três áreas, a exclusão e mata nativa não apresentaram diferenças significativas quanto aos valores médios de estabilidade de agregados, sendo

essas duas áreas as que obtiveram melhores porcentagens de agregados estáveis no solo (Tabela 4).

**TABELA 4:** Estabilidade de agregados (EA) e densidade de esporos (DE) em amostras de solo de área degradada (Superpastejo), em manejo (Exclusão) e mata nativa no município de Irauçuba-Ce. 2015.

Áreas/Tratamentos	EA (%)	DE (100mL/solo)
Superpastejo	74b	4269b
Exclusão	82a	5031b
Mata nativa	85a	7833a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Scott Knott ( $p < 0,01$ ).

Segundo alguns autores, a estabilidade dos agregados do solo é muito sensível à mudança nos ecossistemas, podendo ser alterada diretamente pelos sistemas de manejo do solo adotados (BARTO et al., 2010; SOUSA, 2009). Esse fato pode ser observado no presente estudo na área de superpastejo, onde foi obtido o menor valor médio de estabilidade de agregado (Tabela 4), podendo tal resultado ser atribuído ao grau de degradação em que a área se encontra. Bird et al. (2007), comparando a estabilidade dos agregados em área degradada com outra não degradada no semiárido do Novo México-Estados Unidos da América, constataram que a estabilidade dos agregados se comportava de acordo com o grau de degradação, sendo mais estáveis nas áreas com maior cobertura vegetal, visto que a matéria orgânica tem bastante influência na agregação do solo.

No que concerne à densidade de esporos das áreas de superpastejo e exclusão, não houve diferença estatística significativa, obtendo-se os menores valores médios de esporos (Tabela 3) em relação a mata nativa. No caso dessas duas áreas a de superpastejo permanece em condições de degradação, pois apresenta pouca ou nenhuma vegetação natural e severa presença de erosão laminar, enquanto a área de exclusão, que foi pensada como um modelo de recuperação dessas áreas, muito pouco foi observado no tocante à variações significativas na vegetação típica ao longo desses anos de pousio (menos que 20 anos) (VALONE & SAUTER, 2005; PEI et al., 2007; ZHAO et al., 2007). Segundo McLellan et al. (1995), os propágulos dos fungos micorrízicos arbusculares tem estreita relação com os processos relacionados à degradação das terras que ocorrem em diversas regiões do mundo, sendo severamente afetados quando a interação solo-planta sofre ação do desequilíbrio ambiental. Entretanto Sylvia & Williams (1992) destacam que uma condição mais estressante do ambiente leva os FMA a produzirem um elevado número

de propágulos com o intuito de sobrevivência, fato que não foi observado nesse estudo, uma vez que a mata nativa apresentou o maior número de esporos. Isso já era esperado pois essa área possui uma maior diversidade vegetal, na qual as plantas formam associações com as micorrizas arbusculares, promovendo um favorecimento da colonização e esporulação, já que esta é dependente da colonização das raízes (FRANKE & MORTON, 1994).

#### **4. 3. Análise multivariada: correlações canônicas dos atributos químicos, físicos e biológicos com as frações de PSRG.**

Na tabela 5 são apresentadas as correlações e pares canônicos entre atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a concentrações das duas frações de PSRG (PSRG<sub>FE</sub> e total-PSRG<sub>T</sub>), em três áreas distintas (superpastejo, exclusão e mata nativa) em Irauçuba-CE. Observa-se que para o primeiro par as correlações canônicas foram altamente significativas (1% de probabilidade) pelo teste de qui-quadrado (0,97). Logo, o conjunto (I) explica o conjunto (II), no primeiro par canônico, sendo, dessa forma, de interesse do estudo. Dentre as variáveis relacionadas com a concentração de PSRG, os atributos que contribuíram mais para explicar a concentração de PSRG no solo foi Ca<sup>2+</sup> (R=0,86), N (R=0,84), CO (R=0,84), Mg<sup>2+</sup> (R=0,71), pH (R=0,70) e EA (R=0,61), respectivamente. Isto é, à medida que os valores do conjunto (I) aumentam, aumenta também a concentração de PSRG-FE (R=0,94) e PSRG-T (R=0,99), na seguinte ordem no solo; em contrapartida, no que concernem os atributos Al<sup>3+</sup> (R=0,45), P (R=0,08), e DE (R=0,18), foi verificado pouco ou nenhum efeito (R < 0,6). Para o segundo par canônico, não foram constatadas diferenças significativas entre os atributos do (CI) e concentração de PSRG (CII) nos solos de Irauçuba-CE.

**Tabela 5.** Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos conjuntos CI (pH, Ca, Mg, Al, P, CO, N, EA e DE) e CII (PSRG<sub>FE</sub> e PSRG<sub>T</sub>) referentes aos 21 pontos de estudo.

Conjuntos	Atributos	Pares Canônicos	
		1	2
		Correlações Canônicas	
CI	pH	-0,701274	0,078037
	Ca <sup>2+</sup>	-0,863931	0,094888
	Mg <sup>2+</sup>	-0,714206	0,304614
	Al <sup>3+</sup>	0,456270	0,028860
	P	-0,081694	-0,137169
	CO	-0,841806	0,062830
	N	-0,847321	0,053432
	EA	-0,617521	-0,081882
	DE	0,180468	0,118810
CII	PSRG <sub>FE</sub>	-0,942104	-0,335321
	PSRG <sub>T</sub>	-0,998485	0,055027
R-Canônico		0,9729795**	0,8345262 <sup>ns</sup>
Qui-quadrado		55,67089	16,09411
GL		20	9

GL: Graus de liberdade; \*\*, \*, ns, significativa a 1%, 5% e não significativo respectivamente. (1) Correlações canônicas  $\geq 0,6$  foram consideradas significantes para fins de interpretação.

O cálcio (Ca<sup>2+</sup>) foi a variável do conjunto I que obteve maior correlação com as variáveis do conjunto II em três áreas (Tabela 4), sendo evidenciado dessa forma, nesse estudo, a importância do cálcio na produção da PSRG. Andrade et al. (1995), estudando a cultura do café em Latossolo roxo no Estado do Paraná, observaram que a colonização micorrízica aumentou com a adição de calcário. No presente estudo observou-se que o Ca<sup>2+</sup> mostrou alta correlação (0,86) com a concentração dos dois tipos de PSRG, porém sua maior correlação foi com a PSRG<sub>T</sub>. WU et al. (2014) afirmam que possivelmente o Ca<sup>2+</sup> pode participar no estabelecimento das micorrizas arbúsculares (MA), promovendo o crescimento de hifas e esporos que, com a consequente decomposição dessas estruturas fúngicas, levará a formação da PSRG, fato que pode esclarecer a forte correlação entre o cálcio e a proteína produzida pelos fungos glomaleanos. Entretanto, tais resultados são controversos e muitos outros autores demonstraram relação negativa ou ausência de correlação entre esta proteína e os teores de Ca<sup>2+</sup> (LOVELOCK et al., 2004; MERGULHÃO, 2006).

Em ordem decrescente de correlação, o N e o C orgânico foram as variáveis que, depois do Ca<sup>2+</sup>, apresentaram as maiores correlações (0,84) com os dois tipos de PSRG

(Tabela 4). No entanto, entre as duas frações PSRG, a PSRG<sub>T</sub> foi a que obteve maior correlação com as variáveis N e C orgânico, podendo ser explicado provavelmente pelo fato dessa fração ser mais estável e, conseqüentemente, com uma taxa de decomposição reduzida o que aporta maiores concentrações desses dois elementos no solo (RILLING et al., 2001; STEINBERG & RILLING, 2003). A correlação positiva das variáveis N e C orgânico com as duas frações de PSRG, pode ser atribuída ao fato dessa glicoproteína possuir em sua composição química quantidades consideráveis de carbono e nitrogênio, podendo conter valores estimados entre 28 a 45% de C e 0,9 a 7,3% de N, constituindo-se assim num apreciável reservatório de C e N nos solos (RILLING et al., 2003; LOVELOCK et al., 2004; NICHOLS & WRIGHT, 2006). O C orgânico é um dos indicadores mais consistentes da concentração de PSRG nos ecossistemas (SOUSA et al., 2011). Correlações positivas entre C orgânico e PSRG têm sido demonstradas (BIRD et al., 2002; FRANZLUEBBERS, 2000). Lovelock et al. (2004), trabalhando com dois solos da Costa Rica, verificaram que os teores de C e o N na PSRG corresponderam a aproximadamente 3,2 e 5% do reservatório total de C e de N desses solos. Resultados semelhantes foram encontrados por Rilling et al. (2001).

O Mg<sup>2+</sup> também apresentou correlação com a PSRG (Tabela 4), podendo ter a mesma explicação da correlação com o Ca<sup>2+</sup>, pois esses dois elementos possuem comportamento muito parecido no solo devido a sua semelhança química, uma vez que ambos são cátions divalentes e os seus tamanhos iônicos também são próximos um do outro. É provável que o Mg<sup>2+</sup> também participe no estabelecimento dos FMA e estes são os responsáveis pela produção da PSRG (HODGES et al., 1992). No presente estudo os valores encontrados para o Mg<sup>2+</sup> estavam em acordo com aqueles obtidos por Silva et al. (2012), correlacionando-se também positivamente com a PSRG.

O pH foi outra variável do conjunto (I) que apresentou correlação (0,70) positiva com as duas frações de PSRG do conjunto (II) (Tabela 4). Fungos tendem a predominar em solos ácidos e, como a PSRG é produzida por FMA, é de se esperar que haja uma maior produção dessa proteína em solos ácidos (HADDAD & SARKAR, 2003). Possivelmente na condição de pH ácido há maior preservação da PSRG, uma vez que essa condição não é favorável à presença e atividade de micro-organismos decompositores dessa molécula, como as actinobactérias (LIMA et al., 2013). Alguns autores, entretanto, observaram correlação negativa entre teores de glomalina e pH do solo (RILLING et al., 2003; HADDAD & SARKAR, 2003; MERGULHÃO, 2006).

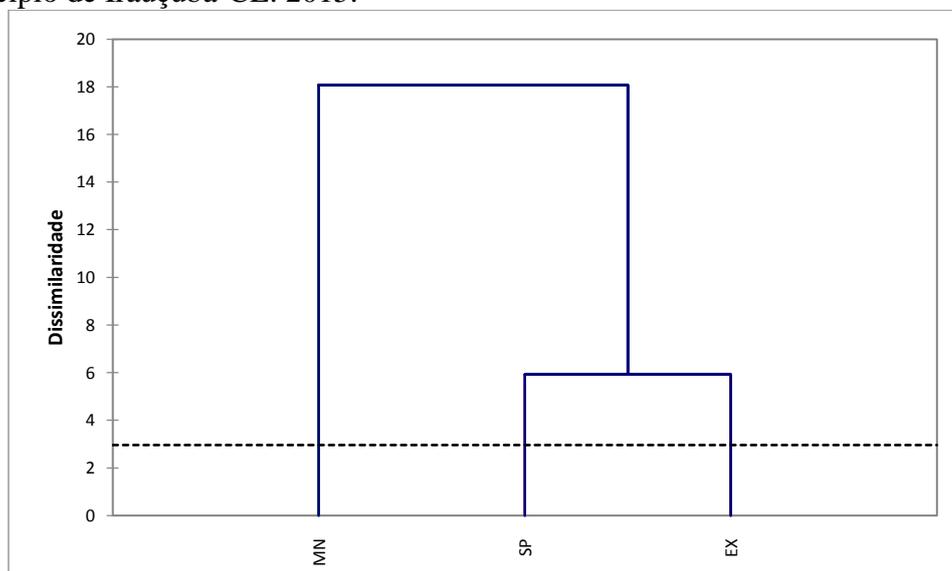
Em diversos estudos tem sido demonstrado que a concentração de PSRG possui alta relação com a estabilidade de agregados do solo, conseqüentemente promovendo melhorias na estruturação e qualidade edáfica e contribuindo para a redução dos riscos de erosão (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998; WRIGHT; ANDERSON, 2000; WRIGHT et al., 2007). Nesse estudo foi observado uma correlação (0,61) positiva entre as duas frações de PSRG e a estabilidade de agregados (Tabela 4). É creditado que a relação da PSRG com a estabilidade de agregados seja atribuída à recalcitrância e hidroforbicidade que essa proteína apresenta funcionando como um ligante orgânico, auxiliando na fixação de material particulado no solo, além de favorecer a formação e estabilidade de agregados (PURIN, 2005; WRIGHT et al., 1996). Nobre et al. (2015), estudando teores de carbono orgânico do solo e PSRG em diferentes fitofisionomias no bioma Caatinga, na Chapada do Araripe (CE), também encontraram correlação positiva entre a proteína produzida pelos FMA e a estabilidade de agregados do solo.

Em contrapartida as variáveis do conjunto I, Al ( $R=0,45$ ), DE ( $R=0,18$ ) e P ( $R=0,08$ ), apresentaram pouca correlação com as variáveis do conjunto II (PSRG<sub>FE</sub> e PSRG<sub>Tz4</sub>), pois as respectivas variáveis Al, DE e P obtiveram correlações canônicas com valores abaixo de 0,6 em modulo, que segundo Santos (2010), variáveis com valores  $<0,6$  são as que menos contribuem para explicar as correlações entre as variáveis dos conjuntos formados.

#### **4. 4. Análise de agrupamento hierárquico referente a todas variáveis analisadas nas três áreas de estudo.**

Por meio do dendograma, pode-se verificar a formação de três grupos de afinidade (Figura 6). É importante ressaltar que no procedimento da análise de agrupamento se buscam as características de um mesmo grupo que os tornam semelhantes, ao tempo em que diferem do comportamento dos outros grupos (VALLADARES et al., 2008). O primeiro grupo foi formado pela área de mata nativa, o segundo pela área de superpastejo e o terceiro grupo pela área de exclusão. Desta forma ficou evidente a distinção da área de mata nativa com as áreas de superpastejo e exclusão como também a similaridade entre as duas últimas (superpastejo e exclusão), comprovando que existe a necessidade de mais tempo para que ocorra diferenças significativas entre essas áreas no que diz respeito a recuperação.

**Figura 6.** Dissimilaridade entre os grupos estabelecida por distância euclidiana a partir dos atributos químicos: (pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , P, CO, N); físico: (EA) estabilidade de agregado e biológicos: (DE) densidade de esporos e proteína do solo relacionada a glomalina (PSRG) (facilmente extraível- $\text{PSRG}_{\text{FE}}$  e total- $\text{PSRG}_{\text{T}}$ ), em solos de três áreas: degradada (Superpastejo-SP), em manejo (Exclusão-EX) e mata nativa-MN, no município de Irauçuba-CE. 2015.



Fonte: autor.

## 5. CONCLUSÕES

O conteúdo das frações de proteína do solo relacionada à glomalina (facilmente extraível e total) da mata nativa foram superiores aos encontrados nas áreas de exclusão e de superpastejo, comprovando que a degradação intensa dessas áreas contribuiu para a diminuição da concentração de PSRG.

O conteúdo de PSRG, associada com outros atributos edáficos, contribui para discriminar a qualidade e monitoramento de áreas com diferentes níveis de degradação do solo em Irauçuba-CE.

A análise de agrupamento hierárquico com base em todos os parâmetros avaliados no solo evidenciou uma maior similaridade entre as áreas de superpastejo e exclusão e uma maior dissimilaridade destas com a mata nativa, indicando que existe a necessidade de mais tempo para que ocorram diferenças significativas entre essas áreas no que diz respeito a sua recuperação.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10703**: Degradação do solo. São Paulo, 1989.

ACCIOLY, L. J. O. Degradação do Solo e Desertificação no Nordeste do Brasil - **Portal Dia de campo**. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br>> Acesso em: julho 2014.

AL-KARAKI, G. N. Mycorrhizal fungi role in reducing the environmental impacts of climate change in arid regions. In: Solh M, Saxena M (ed) food security and climate change in dry areas. : **Proceedings of the International Conference on 1 to 4 February 2010**, Amman, Jordan International Center for Agricultural Research in Dry Areas, Aleppo, Syria, p. 304 -313. 2011.

AL-KARAKI, G. N. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. **Mycorrhiza**, v. 10, p. 51-54, 2000.

ANDRADE, D.S. et al. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 191- 196, 1995.

ARAÚJO, E. A.; KER, C. J.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 320p.

BAGYARAJ, D. J. Ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: ARORA, D.K.; RAI, B.; MUKERJI, K.G.; KNUDSEN, G.R. (Eds). **Handbooke of applied micology: soil and plant**. New York. Marcel Dekker. v. 1, p. 4-34, 1991.

BARTO, E. K.; ALT, F.; OELMANN, Y.; WILCKE, W.; RILLIG, M. C. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a lande use gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2316-2324, 2010.

BATISTA, Q. R.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; SILVA, C. F. Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. e sabiá.

**Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 146-154, jan./mar. 2009.

BEDINI, S.; PELLEGRINO, E.; AVIO, L.; PELLEGRINI, S.; BAZZOFFI, P.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. **Soil Biology Biochemistry**. v. 41, n. 7, p. 1491-1496, 2009.

BI, Y. L.; WU, F. Y.; WU, Y. K. Application of arbuscular mycorrhizal in: ecological restoration of areas affected by mining in China. **Acta Ecologica Sinica**. v. 25, p. 2068-2073, 2005.

BLUNDEN, J.; ARNDT, D. S. **State of the Climate 2011**. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012. v. 93, n. 7, p. 1-264.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, May. 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão Pedológica. **Levantamento Exploratório: Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará**. Recife, 1973. v. 1. (DNPA. Boletim Técnico, 28, SUDENE. Série Pedologia, 16)

BRASIL. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. **Nova delimitação do Semiárido Brasileiro**. Ministério da integração nacional. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretária de Recursos Hídricos. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca**: Brasília, DF, p. 213, 2004. PAN-BRASIL.

CARDOZO JR, F. M. **Dinâmica e biodiversidade de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes áreas sob influência do processo de desertificação em Gilbués-Brasil**. 2011. Universidade Federal do Piauí. Piauí- Gilbués. Dissertação (Mestrado em Agronomia), 2011.

CENTORION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 5. p. 254-258, 2001.

CORNEJO, P.; MEIER, S.; BORIE, G.; RILLING, M. C.; BORIE, F. Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. **Science of the Total Environment**, v. 406. p. 154-160, 2008.

DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Definir a qualidade do solo para um meio ambiente sustentável, **Soil Science Society of America**, Inc., Publicação Especial. Número 35, Madison, WI, EUA, p. 3-21, 1994.

DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.

DRUMOND, M. A. et al. Estratégias para uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: **Workshop de avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga**. Petrolina, 2000. 23 p.

DRUMOND, M.A.; KIILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C.; OLIVEIRA, V. R.; ALBUQUERQUE, S. G.; NASCIMENTO, C. E. S.; CAVALCANTI, J. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 329-340 p.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. 2006. 306p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Symposium on land degradation and poverty**. Roma, Italia, FAO, International Fertilizer Industry Association-IFA, 2000, p. 3. Em: <<http://www.fao.org/docrep/X5317E/x5317e00.htm>>. Acesso em: 23. jul. 2014.

FRANKE, M.; MORTON, J. B. Ontogenetic comparisons of arbuscular mycorrhizal fungi *Scutellospora heterogama* and *Scutellospora pellucida*: revision of taxonomic character concepts, species descriptions, and phylogenetic hypotheses. **Canadian Journal of Botany**. v. 72, p. 122-134, 1994.

GAUR, A.; VARMA, A. Research methods in arbuscular Mycorrhizal fungi. In: VARMA, A.; OELMÜLLER, R. (eds). **Soil biology: Advanced techniques in soil microbiology**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.376-396, 2007.

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

GONÇALVES, J. L. de M.; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; DUCATI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, Paulo Yoshio; OLIVEIRA, Renata Evangelista de; MORAES, Luiz Fernando Duarte de; ENGEL, Vera Lex; GANDARA, Flávio Bertin. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu, SP. FEPAF, Cap.06.p.-113-163, 2003.

GOTO, B.T.; SILVA, G. A.; YANO-MELO, A. M.; MAIA, L. C. Checklist of the arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*) in the Brazilian semiarid. **Mycotaxon**, v. 113, p. 251–254, 2010.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**. Volume 74, Issue 4, Canadá (1994), p. 367-385, 1994.

HADDAD, M. J.; SARKAR, D. Glomalin, a newly discovered component of soil organic matter: part II – relationship with soil properties. **Environmental Geosciences**, v. 10, n. 3, p. 99-106, 2003.

HODGES, S.C., AND G. J. GASCHO. Comparison of plow layer and pegging zone soil test results in Georgia. **Proc. Am. Peanut Res. Educ. Soc.** v. 24, p. 31, 1992.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA-PB, 2011. 209p.

JANOS, D. P. Mycorrhizas, succession and rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J. C.; GADD, G. M. (Ed.). **Fungi and environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 1-18. (British Mycological Society Symposium, v. 20), 1996.

JOHNSON, N. C.; WILSON, G. W. T.; BOWKER, M. A.; WILSON, J. A.; MILLER, R. M. Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v. 107, p. 2093–2098, 2010.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. **Canadian Journal of Plant Science**, Canadá. v. 85, p. 23-29, 2005.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KASSAS, M. Desertification — a general-review. **Journal of Arid Environments**. v. 30, p. 115–128, 1995.

KENNEDY, B. K.; STEFFEN, K. K.; KAEBERLEIN, M. Ruminations on dietary restriction and aging. **Cell Molecules in Life Science**. v. 64, p. 1323–1328, 2007.

LIMA, F. S.; SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. S. Ocorrência e atividade de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) no litoral norte da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, p. 245-255, 2013.

LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F.; CLARK, D. A.; RUESS, R. W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungal across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, v. 92, n. 2, p. 278-287, 2004.

LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 1009-1012, 2004.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 301-322, 1999.

MAJER, J. D. Fauna studies na land reclamation technology: a review of the history and need for such studies. In: **Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed land**. J. D. Majer, coordinator, p 3-33. Londres, Cambridge University Press. 1989.

MASCHIO, L.; GAIAD, S.; MONTOYA, L.; CURCIO, G. R.; RACHWALL, M. F. G.; CAMARGO, C. M. S.; BATTI, A. M. B. Microrganismos e auto-sustentação de ecossistemas em solos alterados. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.440-445, 1992.

MATALLO JR. H.; A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C.S.; JÚNIOR, H.M. **Desertificação-org**. UNESCO, 1999-2003. 82 p.

MCLELLAN, A.J., FITTER, A.H., LAW, R. On decaying roots, mycorrhizal colonisation and the design of removal experiments. **Journal of Ecology**. v. 83, p. 225–230, 1995.

MEKURIA, W., VELDKAMP, E., HAILE, M., NYSSSEN, J., MUYS, B., GEBREHIWOT, K. Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray. Ethiopia. **Journal of Arid Environments**. v. 69, p. 270-284. 2007.

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**, p.249-260, 2002.

MENEZES, R. C. S.; GARRIDO, M.S. & PEREZ, M. A. M. Fertilidade dos solos no semi-árido. In: **Congresso brasileiro de ciência do solo**, 30. Recife, Palestras. Recife, UFRPE/SBCS, CD-ROM, 2005.

MERGULHÃO, A. C. E. S. **Aspectos ecológicos e moleculares de fungos micorrízicos arbusculares**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2006. 152 p. (Tese Doutorado em Ciências Biológicas)

MESQUITA, R. C. M.; VALE, L. V.; LOPES, E. A. & OLIVEIRA, J. G. B. Manejo de pastagem nativa para Caprinos. In: I Simpósio Nacional de Caprinos e Ovinos Tropical, 1981, Sobral – CE. CNPC/EMBRAPA, 1981.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG.** Rio Claro, São Paulo. 2004. 139p. (Tese de doutorado em Ciências Biológicas)

MORTON, J. B.; BENTIVENGA, S. P.; BEVER, J. D. Discovery, measurement, and interpretation of diversity in arbuscular endomycorrhizal fungi (*Glomales*, *Zygomycetes*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 73, n. 1, p. 25-32, Jan. 1995.

NICHOLS, K. A. Characterization of glomalin – a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi. **Thesis (Ph.D.)** – University of Maryland, College Park, MD, 2003.

NICHOLS, K. A.; WRIGHT, S. F. Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools. **Biology & Fertility of Soils**, Germany, v. 43, n. 2, p. 215-220, 2006.

NOBRE, C. P.; LÁZARO, M. L.; SANTO, M. M. E.; PEREIRA, M. G.; BERBARA, R. L. L. Agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista caatinga**, Mossoró, v. 28, p. 138 – 147, 2015.

NOVAIS, C. B.; SOUZA, F. A.; SIQUEIRA, J. O. Caracterização fenotípica e molecular de esporos de fungos micorrízicos arbusculares mantidos em banco de germoplasma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 45, p. 806-896, 2010.

OEHL, F.; SOUZA, F. A.; SIEVERDING, E. Revision of *Scutellospora* and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza forming Glomeromycetes. **Mycotaxon**, v. 106, p. 311-360. 2008.

PAN-BRASIL: Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. Brasília: M.M.A. **Secretaria de Recursos Hídricos**, p. 242, 2004.

PATRÍCIO, E. Comunicação e educação no Mercosul - princípios e estratégias a partir das ações de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca nos países do Bloco. **Faculdade 7 de Setembro (FA7)** / Catavento Comunicação e Educação / Universidade Federal do Ceará – CE, 2009.

PAULUCIO, V. O. **Qualidade química e biológica de área degradada pela extração de argila, revegetada com eucalipto e leguminosas inoculados com micorrizas**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro Campos dos Goytacazes 2007. 106 f. (Tese de Doutorado em Produção Vegetal)

PEI, S; FU, H. & WAN, CHANGGUI. Changes in soil properties and vegetation following enclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems and Environmet**, v. 124, p. 1-7, 2007.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Revista Parcerias Estratégicas**. Brasília-DF, v. 17, p. 87-106, 2012.

PESSOA, M. F.; GUERRA, A. M. N. M.; MARACAJÁ, P. B.; LIRA, J. F. B.; EDIMAR FILHO, T. D. Estudo da cobertura vegetal em ambientes da caatinga com diferentes formas de manejo no assentamento Moacir Lucena, Apodi, RN. **Revista Caatinga**, v. 21, p. 40-48, 2008.

PINTO, R.M.S.; CARVALHO, V.C.; ALVALÁ, R.C.S. Mapas de variabilidade temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para utilização em modelos meteorológicos. In: simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 14, Natal. **Anais ... INPE**, p. 6077-6083, 2009.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 03, p. 413-424, 2006.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: Atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã**. Florianópolis, Universidade do Estado de Santa Catarina, 147p. (Dissertação de Mestrado), 2005.

PURIN, S.; RILLIG, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, n. 2, p. 123-130, 2007.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 9, p. 1257-1260, 2003.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, Oxford, v.171, p.41-56, 2006.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P.; MORRIS, S.; PAUL, E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, n. 2, p. 293-299, 2003.

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**, The Hague, v. 233, n. 2, p. 167-177, 2001.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science** v.84, p. 355-363, 2004.

ROSSI, C. Q.; POLIDORO, J. C. Ciclos dos Nutrientes e sua Relação com a Nutrição de Plantas. IN: TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena. Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 228 p. (**Embrapa Solos. Documentos, 103**), 2008.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. H. C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M. A. **Desertificação no Semiárido brasileiro**. Fortaleza - Ceará, Brasil. 2ª Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas ICID+18, 16-20 de Agosto de 2010.

SALOMON, J.A.; SCHAEFER, M.; ALPHEI, J.; SCHMID, B.; SCHEU, S. Effects of plant diversity on collembola in an experimental grassland ecosystem. **Oikos**. v. 106, p. 51-60, 2004.

SANTOS, P. R. **Atributos do solo em função dos diferentes usos em perímetro irrigado do sertão de Pernambuco**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010. 113p. (Tese de doutorado em Ciências do Solo)

SCHINDLER, F. A.; MERCER, E. J.; RICE, J. A. Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content. **Soil Biology and Biochemistry**, 39, p. 320–329, 2007.

SCHNEIDER, J.; KLUBEG FILHO, O.; FONTOURA, S. M. V.; ALVES, M. V. Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência agrotecnologia**. Lavras. 35, p.701-9, 2011.

SCHREINER, R. P. Effects of native and nonnative arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of ‘Pinot noir’ (*Vitis vinifera* L.) in two soils with contrasting levels of phosphorus. **Applied Soil Ecology**, v. 36, p. 205-215, 2007.

SILVA, C. F. et al. Atividade de fungos micorrízicos arbusculares em dunas litorâneas impactadas por mineração. In: reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 29.; reunião brasileira sobre micorrizas, 13.; simpósio brasileiro de microbiologia do solo, 11.; reunião brasileira de biologia do solo, 8., 2010, Guarapari. Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

SILVA, C. F. et al. Atividade de fungos micorrízicos arbusculares em dunas litorâneas impactadas por mineração. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 29; reunião brasileira sobre micorrizas, 13.; simpósio brasileiro de

microbiologia do solo, 11.; reunião brasileira de biologia do solo, 8., 2010, Guarapari.  
Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: **Anais...** Viçosa:  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

SIQUEIRA, J. O.; KLAUBERG FILHO, O. Micorrizas arbusculares: a pesquisa brasileira em perspectiva. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: UFV, v. 1, p. 235-264, 2000.

SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C.A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L.S.; CABEKKAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O.(ed.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Gráfica Metrópole. Porto Alegre, p. 495-520, 2008.

SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; LIMA, F. S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. *Semina: Ciências Agrárias*. v. 336, p. 3033-3044, 2012.

SOUSA, F. P. Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso de Irauçuba, Ceará. 89 f.; il. color. enc. 2009. (Dissertação de mestrado em solos e nutrição de plantas)

SOUZA, F. A. et al. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, p. 15-73, 2010.

STEINBERG, P. D.; RILLIG, M. C. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalins. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, p. 191-194, 2003.

SYLVIA, D. M.; WILLIAMS, S. E. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G. (Ed.). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: ASA Special Publication, p. 101-124, 1992.

TREVISAN, R.; MATTOS, M.L.T. & HERTER, F.G. Atividade microbiana em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico coberto com aveia preta (*Avena sp.*) no outono, em um pomar de pessegueiro. **Ciência Rural**, v. 7, p. 83-89, 2002.

UNITED NATIONS. **Agenda 21**. Senado Federal, BsB, 1996. 591p.

VALONE, T. J.; SAUTER, P. Effects of long-term cattle enclosure on vegetation and rodents at a desertified arid grassland site. **Journal of Arid Environments**, v. 61, p. 167-170. 2005.

VALLADARES, G.S., GOMES, E.G., MELLO, J.C.C.B.S., PEREIRA, M.G., ANJOS, L.H.C., EBELING, A.G., BENITES, V.M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 285-296, 2008.

VASCONCELOS S. J. Processos de desertificação no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção. Recife: **SEMA/SUDENE**, 1982.

VEENENDAAL, E. M. Adaptive strategies of grasses in a semi-arid savannah in Botswana. Amsterdam: Vrije Universiteit van Amsterdam, **Ph. D. Thesis**, 1991.170p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma Visão sobre Qualidade do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WALKER, C.; VESTBERG, M. Synonymy amongst the arbuscular mycorrhizal fungi: *Glomus claroideum*, *G. maculosum*, *G. multisubstensum* and *G. fistulosum*. **Annals of Botany**, v. 82, p. 601-624, 1998.

WARREN, A. Desertification as a Global Environmental Issue. **Geo-Journal**. v. 31, p. 11-14, 1993.

WRIGHT, S. F.; ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology & Fertility of Soils**, Germany, v. 31, p. 249-253, 2000.

WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J. B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, n. 2, p. 193-203, 1996.

WRIGHT, S. F.; GREEN, V. S.; CAVIGELLI, M. A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 94, p. 546-549, 2007.

WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F. Comparison of efficiency of three extractants to solubilize glomalin on hyphae and in soil. **Chemosphere**, v. 64, p. 1219-1224. 2006.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, The Hague, v. 198, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S.; UPADHYAYA, A. A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, Baltimore, v. 161, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97–107, 1998.

WU, Q. S; NI, Q. D; QUE, Y. C; HUANG. W. Calcium and Calmodulin Involve in Mycorrhizal and Root Development in Trifoliolate Orange Colonized by *Rhizophagus intraradices*. **Not Bot Horti Agrobo**, v. 42, p. 380-385. 2014.

ZHAO, H. L; ZHOU, R. L.; SU, Y. Z; ZHANG, H; ZHAO, L. Y. & DRAKE, S. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia. **Ecological Engineering**. v. 31, p. 1–8, 2007.

ZUQUETTE, L. V; RODRIGUES, V. G. S; PEJON, O. J. Recuperação de áreas degradadas. **Revista Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. v, 13, p. 589-619, 2013.