# UFRRJ

## INSTITUTO DE BIOLOGIA

## CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE E BIOTECNOLOGIA APLICADA


## DISSERTAÇÃO

# Teores de Glomalina e Substâncias Húmicas em Diferentes Estágios Sucessionais de Floresta Seca


**Jurema Schinz Diniz**



**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**
**INSTITUTO DE BIOLOGIA**
**DEPARTAMENTO DE ENTOMOLOGIA E FITOPATOLOGIA**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE E BIOTECNOLOGIA APLICADA**

# TEORES DE GLOMALINA E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM DIFERENTES ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE FLORESTA SECA

**JUREMA SCHINZ DINIZ**

*Sob a Orientação do Professor*
**Ricardo Luis Louro Berbara**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências,** no Curso de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, Área de Concentração em Biotecnologia Aplicada.

Seropédica, RJ
Junho de 2011

**UFRRJ / Biblioteca Central / Divisão de Processamentos Técnicos**

579.5
D585t
T

Diniz, Jurema Schinz, 1980-
Teores de glomalina e substâncias húmicas em diferentes estágios sucessionais de floresta seca / Jurema Schinz Diniz 2011.
32 f.: il.

Orientador: Ricardo Luis Louro Berbara.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada.
Bibliografia: f. 27-32.

1. Fungos micorrízicos Teses. 2. Fungos do Solo Teses. 3. Florestas Reprodução - Teses. 4. Biologia do solo - Teses. I. Berbara, Ricardo Luis Louro, 1957-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – A autora".

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**
**INSTITUTO DE BIOLOGIA**
**DEPARTAMENTO DE ENTOMOLOGIA E FITOPATOLOGIA**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE E BIOTECNOLOGIA APLICADA**

**JUREMA SCHINZ DINIZ**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, área de concentração em Biotecnologia Aplicada.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/06/2011.

BANCA EXAMINADORA:

_____
Ricardo Luis Louro Berbara. Ph.D. UFRRJ
(Orientador)

_____
Gabriel de Araújo Santos. Ph.D. UFRRJ

_____
Orivaldo José Saggin Júnior. D.Sc. Embrapa Agrobiologia

# DEDICATÓRIA

Dedico às pessoas que me ajudaram e que acreditam na importância do trabalho de pesquisa voltado para a agricultura e o meio ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, à CAPES e ao PPGFBA por me possibilitarem cursar este mestrado.

Agradeço aos professores que muito me ensinaram até hoje, principalmente ao Professor Berbara, por sempre acreditar no meu potencial e me apoiar nas minhas decisões.

Ao Professor Júlio Hokama, por me auxiliar na estatística.

Agradeço à minha família por me possibilitar os estudos.

Agradeço ao Roberto, por estar sempre pronto a ajudar com as necessárias documentações.

Agradeço aos companheiros do laboratório de Biologia do Solo: Camila, Sael, Thiago e Beto por me ajudarem nas práticas e a sanar as minhas dúvidas.

Agradeço aos companheiros do laboratório de Física do Solo: Paula e Júlio César, por me ajudarem nas práticas.

Agradeço aos meus amigos por me ouvirem e me apoiarem, acreditando em mim; ao Francy e ao Diego por me ajudarem no meu experimento; à Veralu pelo seu trabalho com mata seca.

Agradeço ao meu companheiro Marco Antonio por me ajudar no dia a dia com seu carinho.

"*Da mesma forma que as ciências jogam luzes sobre a realidade social, projetam sombras que conformam uma imagem do mundo que serve de amálgama ideológico ao sistema de dominação social que legitimam.*"

Paulo Petersen.

# RESUMO

DINIZ, Jurema Schinz. **Teores de glomalina e substâncias húmicas em diferentes estágios sucessionais de floresta seca.** 2011. 32f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada). Instituto de Biologia, Departamento de Entomologia e Fitopatologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

Este trabalho contribui para o entendimento da relação da regeneração de florestas tropicais secas, com a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Tem como objetivos específicos: a extração e a quantificação de glomalina, de glomerosporos e de substâncias húmicas em diferentes sucessões de floresta seca. O objetivo é avaliar a atividade dos FMAs em diferentes estágios sucessionais de floresta seca, acrescentando e colaborando assim para o desenvolvimento dos projetos: "Functional links between aboveground changes and belowground activity with land use in the Americas: Soil biodiversity and food security" e "Human, Ecological and Biophysical Dimensions of Tropical Dry Forest". Os teores de glomalina total e de carbono orgânico foram maiores na área de sucessão inicial e tardia de floresta seca, indicando maior influência do estoque de carbono na glomalina do solo. O maior número de esporos e glomalina, na área de sucessão inicial, mostrou a maior atividade dos fungos micorrízicos arbusculares em área perturbada que está se regenerando, sugerindo a contribuição dos FMAs para essa recuperação do ecossistema de florestas secas. As propriedades físicas e químicas diferentes do solo na área de sucessão intermediária provavelmente contribuíram para a baixa concentração de glomalina e carbono. Os maiores teores de ácidos húmicos e fúlvicos no solo de sucessão intermediária podem ter contribuído também para a baixa atividade dos FMAs e podem ser devidos à maior diversidade de espécies vegetais nesta área. É importante desenvolver estudos que comparem as propriedades químicas e físicas do solo com a atividade desses microorganismos simbiontes em diferentes sucessões vegetais; que analisem a influência das substâncias húmicas na atividade dos FMAs em campo; e da influência da diversidade de espécies vegetais na atividade dos FMAs.


**Palavras-chave:** Glomeromycota, carbono, ecossistema semi-árido.

## ABSTRACT

DINIZ, Jurema Schinz. **Glomalin and humic substances levels in different sucessional stages of a dry forest.** 2011. 32f. Dissertation (Master Science in Phytossanitary and Biotechnology Applied). Instituto de Biologia, Departamento de Entomologia e Fitopatologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

This study contributes to understanding the relationship between tropical dry forests regeneration and arbuscular mycorrhizal fungi activity. The specific objective of this study is to extract and quantify glomalin, glomerospores and humic substances in different sucessional stages of a dry forest. The main objective is to study the activity of AMFs in different stages of a dry forest and to colabore to the projects: "Functional links between aboveground changes and belowground activity with land use in the Americas: Soil biodiversity and food security" e "Human, Ecological and Biophysical Dimensions of Tropical Dry Forest". Total Glomalin (TG) and carbon levels were higher in inicial and late stage of dry forest, indicating the carbon storage contribution to glomalin in soil. In addition, the higher number of glomerospores in this sucessional stage shows the more activity of AMF and its potential to regeneration of disturbed dry forests. The different chemical and physical properties of soil in intermediate stage possibly contributed to low glomalin and carbon levels. The higher levels of humic substances in this stage possibly contribute to the lower activity of AMF and can be explained by the higher diversity of plants in this area. It is important to study the influence of physical and chemical properties, humic substances and plant diversity in AMF activity, in different sucessional stages of dry forests.



**Index terms:** Glomeromycota, carbon, semi-arid ecosystem.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1 -** Tendências da fenologia das florestas tropicais secas na América Latina.....04
**Figura 2 -** Mapa da Localização do PEMS e dos biomas.....25
**Figura 3 -** Mapa digital dos solos da reserva estadual da Mata Seca – MG..... 26
**Figura 4** - Teor de C.org nos três estágios da FTS.....30
**Figura 5 -** CTC nos três estádios de sucessão.....30
**Figura 6 –** Teores de argila nos três estádios de sucessão .....31
**Figura 7 –** Quantidade de substâncias substâncias húmicas.....32
**Figura 8 –** Teores de glomalina total e facilmente extraível.....33
**Figura 9 -** Densidade de glomerosporos.....34

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO..... 1**
**2 REVISÃO DE LITERATURA..... 2**
2.1 Florestas Secas ..... 2
2.2 As regiões semi-áridas..... 4
2.3 O carbono ..... 7
2.4 O solo.....11
2.4.1 Física do solo.....12
2.4.2 Química do solo.....13
2.4.3 A matéria orgânica do solo.....14
2.4.4 Substâncias húmicas.....16
2.5 Cobertura vegetal.....18
2.6 Biologia do solo.....20
2.7 Fungos micorrízicos arbusculares.....21
2.8 Glomalina.....23
**3 MATERIAL E MÉTODOS.....24**
3.1 Área estudada.....24
3.2 Coletadas amostras.....26
3.2.1 Substâncias húmicas.....27
3.2.2 Fungos micorrízicos arbusculares.....28
3.2.2.1 Extração de esporos.....28
3.2.2.2 Extração e quantificação de glomalina.....28
3.2.3 Análises estatísticas .....29
**4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....29**
4.1 Análise química e física do solo.....29
4.2 Substâncias húmicas.....32
4.3 Fungos micorrízicos arbusculares.....33
**5 CONCLUSÕES.....35**
**6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....36**

# 1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais secas, que ocupavam originalmente 42% da vegetação tropical em todo mundo (MURPHY & LUGO, 1995), são o ecossistema tropical terrestre mais ameaçado, devido a sua rápida conversão em terras agrícolas (SANCHEZ-AZOFEIFA, 2005). Nesse contexto, o entendimento da relação da regeneração da vegetação com a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é necessário, para se conhecer a importância desses organismos simbiontes do solo na contribuição para a restauração destas florestas. Mesmo com a dada importância dessas florestas, a informação disponível ainda é escassa. São encontrados poucos estudos sobre regeneração natural de florestas tropicais secas e menos ainda sobre a atividade de organismos do solo nesses ecossistemas.

Os fungos micorrízicos arbusculares são conhecidos por ajudar no desenvolvimento das plantas, ao fornecer água e nutrientes, que muitas vezes podem ser encontrados em profundidades onde as raízes não alcançariam. Além disso, estes fungos contribuem para a estruturação de comunidades vegetais, influenciando na definição da sucessão vegetal.

As áreas escolhidas para realização deste estudo, estão localizadas no Parque Estadual da Mata Seca, no norte de Minas Gerais. São quatro áreas: de pasto, de sucessão inicial, intermediária e tardia de floresta seca. Para avaliar a atividade dos FMAs nessas áreas, foi feita extração e quantificação da proteína relacionada à glomalina do solo. A glomalina além de ser um dos indicativos de atividade dos FMAs, também contribui muito para o estoque de carbono no solo, já que boa parte do carbono da matéria orgânica do solo está em forma de glomalina e substâncias húmicas. Por isso, foram realizadas análises de substâncias húmicas desses solos também e discutido o tema carbono, matéria orgânica e física e química do solo.

Este trabalho teve como objetivos específicos: realizar a extração e a quantificação de glomalina, de glomerosporos e de substâncias húmicas em diferentes sucessões de floresta seca. Enquanto o objetivo geral é apresentar os resultados sobre a área estudada, onde foi avaliada a atividade dos FMAs em diferentes estágios sucessionais de floresta seca, acrescentando e colaborando assim para o desenvolvimento dos projetos: “Functional links between aboveground changes and belowground activity with land use in the Americas: Soil biodiversity and food security” e “Human, Ecological and Biophysical Dimensions of Tropical Dry Forest”. Estes projetos são desenvolvidos pelo Instituto Interamericano para Pesquisa em Mudanças Globais, “Inter American Institute for Global Change Research” em uma rede colaborativa entre Brasil, Costa Rica, Cuba, Venezuela e México.

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 Florestas Secas

Florestas tropicais sazonalmente secas (tradução literal de "Seasonally Dry Tropical Forests") ocorrem em áreas onde a biotemperatura média anual (temperatura que considera todas as temperaturas negativas como 0° C) ultrapassa os 17° C, a precipitação anual é de 250 a 2000 mm e a evapotranspiração potencial é maior que a precipitação em uma significante parte do ano (*sensu* HOLDRIDGE, 1967). Além dessa definição, utilizada por MURPHY & LUGO (1986) numa revisão sobre a ecologia de florestas secas, uma outra, utilizada no livro *Seasonally Dry Tropical Forests* (BULLOCK et al., 1995), considera que estas florestas ocorrem em regiões tropicais com vários meses de seca severa ou absoluta; e outra utilizada no livro *Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests* (PENNINGTON et al., 2006), considera que estas florestas ocorrem onde a precipitação anual é menor que 1600 mm, com um período de no mínimo 5-6 meses recebendo menos que 100 mm. Elas englobam desde florestas semidecíduas de grande porte até uma vegetação arbustiva dominada por cactos (MURPHY & LUGO, 1995).

As florestas secas recebem diferentes nomes e classificações regionais, fazendo com que generalizações sejam raras (MURPHY & LUGO, 1995). No Brasil as diferentes fitofisionomias de caatinga (SAMPAIO, 1995), a fitofisionomia cerradão, as florestas estacionais deciduais e algumas florestas estacionais semideciduais seriam consideradas florestas tropicais secas, de acordo com essas classificações. Embora essas florestas sejam freqüentemente conectadas a savanas, uma vez que ocorrem nas mesmas condições climáticas, florestas secas são freqüentemente encontradas em solos de alta fertilidade do solo. Embora as florestas secas sejam abordadas na literatura que generaliza aspectos ecológicos de florestas tropicais, os estudos concentram-se nas florestas tropicais úmidas (MOONEY et al., 1995; KHURANA & SINGH, 2001; SANCHEZ-AZOFEIFA et al., 2005). As condições climáticas encontradas nas florestas secas moldam características bastante peculiares na vegetação. Assim, fatores ecológicos relevantes em florestas úmidas, como clareiras, podem não ser tão importantes em florestas secas, e a limitação de água pode ter um papel muito mais expressivo em florestas secas (GERHARDT, 1996; MCLAREN & MCDONALD, 2003).

As Florestas Tropicais Secas (FTS - ou bosques secos) são ecossistemas pouco estudados, mas que abrigam apenas na Caatinga brasileira, cerca de 30 milhões de habitantes, sendo a região semi-árida com a maior densidade demográfica do planeta. De acordo com IBGE (2004), a caatinga equivale a aproximadamente 10% do território do Brasil, enquanto, segundo MURPHY & LUGO (1986), 42 % das florestas tropicais do mundo são tropicais secas. Elas se caracterizam pelo clima semi-árido e pela elevada diversidade animal e vegetal. Ricas em recursos naturais, as FTS são um dos ecossistemas mais ameaçados e desconhecidos do planeta. O alto poder calorífico das espécies florestais nelas contidas é a principal causa de sua degradação. Em regiões em que a escassez de rios implica em acesso menor à energia elétrica, a lenha e o carvão vegetal correspondem a 30 % da matriz energética usada nas indústrias da região, o que acaba intensificando o desmatamento local.

Consequentemente, a taxa de modificação da cobertura é extremamente elevada devido à pressão demográfica, demanda por energia e à ausência de áreas de proteção. Em 2000 no Brasil, segundo o Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga (2004), as áreas de unidades de conservação (UCs) representavam apenas 3,1% do bioma Caatinga. Nas regiões da Mesoamérica, Caribe e diversos países da América Latina, a realidade não é distinta. Na Figura 1 podem ser observadas as tendências da fenologia de florestas

tropicais secas na América Latina. Segundo SÁNCHEZ-AZOFEIFA et. al. (2003), florestas secas são transformadas, a taxas superiores que a de florestas úmidas, em agricultura ou pasto. Mas não apenas isso: existe uma grande diferença entre o número de publicações encontradas sobre florestas úmidas e secas. Desde 1945, um total de 2300 artigos foi publicado sobre ambientes tropicais, sendo que apenas 14 % destes referiam-se ao ecossistema estudado neste trabalho. Portanto, devido ao pouco conhecimento técnico-científico produzido sobre FTS, à acelerada degradação destes ecossistemas e ao pequeno número de áreas de conservação em bosques secos, este tema apresenta grande relevância para a sociedade acadêmica como um todo.

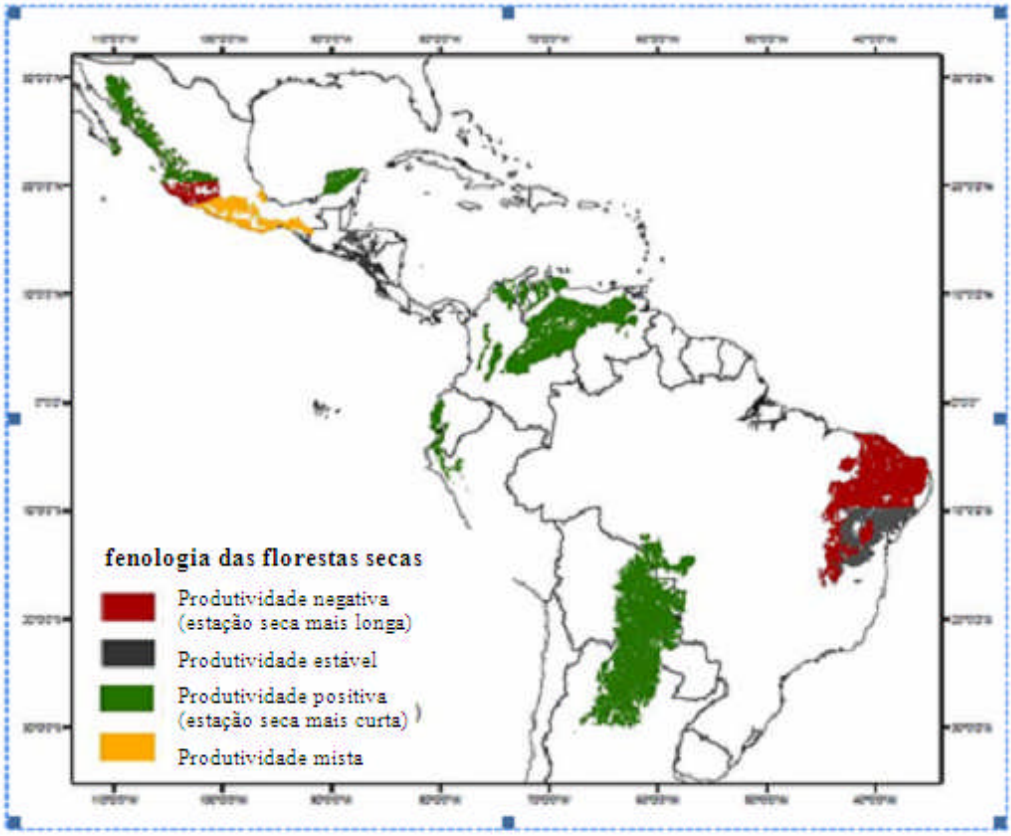


**Figura 1.** Tendências da fenologia das florestas tropicais secas na América Latina.

## 2.2 As Regiões Semiáridas

No meio ambiente ocorrem mudanças naturais, próprias do processo evolutivo do planeta e, as causadas pelo ser humano, mais severas e degradatórias, que geram grandes prejuízos econômico, social, cultural, político e ambiental. A degradação das terras nas regiões áridas e semi-áridas ocorre desde o nível baixo até o muito grave ou severo, e indicam os diferentes estágios de desenvolvimento do desastre da desertificação. Na realidade o processo da desertificação tem como um dos fatores a ocorrência da seca, mas é muito complexo, longo e relativamente lento, construído socialmente desde o início. Por suas características, o processo da desertificação pode passar despercebido; a nova paisagem e a realidade socioeconômica instalada podem passar a serem consideradas como "naturais", pela falta da percepção das modificações do espaço, temporal e histórica do processo evolutivo da

região. A percepção do desastre da desertificação como um risco á vida é primordial, pois somente através desta é que poderemos definir políticas públicas de combate à desertificação e de mitigação dos efeitos da seca, com vistas ao desenvolvimento sustentável para a recuperação da capacidade produtiva das regiões áridas e semi-áridas e a melhora na qualidade de vida (OLIVEIRA e al., 2009).

A Convenção Mundial de Combate à Desertificação da Organização das Nações Unidas (UNCCD) define, em seu primeiro artigo, desertificação, termo introduzido por AUBREVILLE (1949), como sendo a degradação das terras nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas resultantes de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas. Dessa definição podemos perceber que somente as variações climáticas não denotam a desertificação. Por degradação das terras se entende a redução ou a perda da produtividade biológica ou econômica das terras agrícolas de sequeiro, das terras de cultivo irrigado, dos pastos e dos bosques; em zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas; pelos sistemas de utilização da terra, por um processo ou uma combinação de processos, incluídos os resultantes de atividades humanas e padrões de povoamento, tais como: a erosão do solo causada pelo vento ou pela água, a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou das propriedades econômicas do solo, e a perda duradoura da vegetação natural.

A desertificação é acelerada pela ação do homem, através da utilização de práticas inadequadas, trazendo conseqüências danosas para a terra e para quem dela tira o sustento (BARBOSA et al., 2005), explorando a terra intensivamente até a exaustão da sua fertilidade natural, e sem qualquer prática de reposição dessa fertilidade e de preservação do solo (LEMOS, 1995). Dados das Nações Unidas - ONU - mostram que os prejuízos causados pela desertificação correspondem a US$ 250 por hectare em áreas irrigadas, US$ 40 por hectare em área de agricultura de sequeiro e US$ 7,00 por hectare em área de pastagem. De acordo com o diagnóstico do Ministério do Meio Ambiente (MMA), as perdas econômicas no semi-árido podem chegar a US$ 800 milhões por ano devido à desertificação e os custos de recuperação das áreas mais afetadas foram estimados em US$ 2 bilhões para um período de vinte anos.

Apesar das mudanças climáticas, degradação ambiental, perda de biodiversidade, aumento da população, pobreza e insegurança alimentar predominantes dessas regiões, presentes em várias partes do mundo (principalmente no continente africano, mas também na Ásia e nas Américas), estudos mostram que é possível mudar. A economia dos países pode ser descrita conforme três tipos de agricultura: de subsistência, de transição, e orientada para o mercado urbano. A emergência da subsistência para agricultura orientada ao mercado urbano diminui a pobreza porque estimula a produção mais diversificada e de valor para produção agroindustrial, gerando entrada de capital no meio rural e criando oportunidades de trabalho. Muitas experiências de trabalho junto aos agricultores familiares das regiões áridas e semi-áridas na África e Ásia, incentivadas também por centros de pesquisa, vêm melhorando as condições de agricultura dessas regiões, usando técnicas de manejo e espécies adaptadas ao clima e solo (ICRISAT, 2010).

Estudos sobre a complexidade dos ambientes semi-áridos, onde ocorre o predomínio de ecossistemas de florestas secas (em sucessão primária e secundária), em vários países do continente americano, também vêm contribuindo para o desenvolvimento de políticas para o uso correto do solo nessas áreas. O Instituto Interamericano para Pesquisa em Mudanças Globais, “Inter American Institute for Global Change Research” desenvolve vários projetos em rede colaborativa entre Brasil, Costa Rica, Cuba, Venezuela e México. No Brasil existem dois projetos em andamento intitulados: “Functional links between aboveground changes and belowground activity with land use in the Americas: Soil biodiversity and food security” e “Human, Ecological and Biophysical Dimensions of Tropical Dry Forest”. Estes projetos têm como um dos objetivos específicos, estudar a biota do solo e sua relação com o solo em

função da produtividade e diversidade de bosques secos ao longo da sua sucessão (NASSAR et al., 2008). No Brasil, as Florestas Secas ou Floresta Estacional Decidual estão presentes em pelo menos três biomas: na Caatinga, no Cerrado e na Mata Atlântica. Alguns autores afirmam que todas as formas da Caatinga atual são oriundas da degradação antrópica, onde o clímax seria a Floresta Seca.

A região semiárida do Brasil abrange uma área de 969.589,4 $km^2$ que integra o território de 1.133 municípios dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Sua população é estimada em 21 milhões de pessoas, o que corresponde a 11% da população brasileira, caracterizando-se como a região semiárida mais populosa do mundo (NEVES et al., 2010).

As regiões mais próximas ao equador são as mais prejudicadas pelo aquecimento global. Estas regiões antes já com dificuldades como escassez hídrica e altas temperaturas, de difícil produção agrícola, sempre sofreram com problemas de desnutrição na população e abandono por parte dos governos. Mais do que nunca, existe a necessidade de estudos voltados para o desenvolvimento dessas áreas, buscando alternativas de sobrevivência e restauração principalmente de sua vegetação, base para o desenvolvimento agrícola.

## 2.3 O Carbono

O carbono é um dos principais elementos para os seres vivos, pois, é o componente fundamental das moléculas orgânicas. Os teores de carbono total da biomassa variam de 50 a 55% com base na sua matéria seca. A distribuição do carbono na superfície terrestre (Biosfera) e em profundidades de até 16 km, reflete um delicado equilíbrio entre os diversos reservatórios considerados. A quantidade de carbono no solo, em termos de matéria orgânica, excede a quantidade encontrada em todos os reservatórios superficiais combinados. Entretanto, este reservatório de carbono do solo é pequeno quando comparado com o carbono total contido nas formações sedimentares. Assim, a maior parte do carbono não está em circulação, mas em sedimentos inorgânicos e produtos de armazenamento tais como: carbonatos em rochas e compostos orgânicos contidos no carvão e petróleo (MILLER, 1984).

O carbono encontrado na atmosfera na forma de $CO_2$ representa apenas uma pequena fração (9,7%) do carbono em circulação na biosfera. A quantidade de carbono contida na biomassa (6,3 %) é menor que aquele contido na atmosfera. Entretanto, os teores de carbono contidos na biomassa variam de 40 a 55%, diferindo substancialmente dos teores de carbono ($CO_2$) encontrados na atmosfera (0,03% por volume). Isto evidencia a operação de mecanismos altamente concentradores de carbono em determinadas frações de biomassa. Estes mecanismos concentradores de carbono são representados pelos processos autotróficos da fotossíntese e quimiossíntese, realizados tanto por plantas quanto microrganismos. Deste modo, estes processos representam, numa primeira etapa, uma imobilização do carbono através do $CO_2$. Por outro lado, o carbono está sendo continuamente devolvido à atmosfera através da oxidação da matéria orgânica, representados pelos processos de respiração e combustão, processos estes denominados de mineralização da matéria orgânica. Assim os teores de carbono total na atmosfera e da superfície terrestre, dependem de um delicado equilíbrio entre processos de imobilização (redução) e mineralização (oxidação) do carbono (HOUGTHON, 1994).

O equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização do carbono vem sendo alterado desde o advento da revolução industrial no século XIX. Desde aquela época, os teores de $CO_2$ na atmosfera vêm aumentando significativamente, provenientes, principalmente, da queima de combustíveis fósseis. Parte do $CO_2$ assim produzido pode ser absorvido pelos oceanos como $HCO_3^-$ e/ou fixado na biomassa de plantas. Entretanto, a capacidade tamponante limitada de $CO_2$ dos oceanos juntamente com o desmatamento sem a

devida reposição de culturas, vem criando as condições para o surgimento do “efeito estufa”, resultando em alterações sazonais significativas na superfície terrestre, devido ao acúmulo crescente de $CO_2$ e $CH_4$ na atmosfera (GRACE, 2001).

Sob a denominação genérica de matéria orgânica incluem-se uma grande diversidade de materiais e compostos, sendo a maior parte originária de material vegetal na forma de biomassa, resíduos orgânicos ou simplesmente material orgânico que incorporados ao ambiente são processados pela microbiota até a sua estabilização na forma de compostos húmicos complexados. Nos diversos ambientes, as transformações do carbono seguem os princípios gerais que regem a construção de uma cadeia alimentar. Os produtores primários são principalmente plantas superiores, cianobactérias e algas. As bactérias fotossintéticas e os microrganismos quimioautotróficos contribuem muito pouco para a fixação global do carbono, embora possam apresentar contribuições significativas em determinados ambientes ou habitat específicos. Os microrganismos consumidores são representados pelos protozoários, bactérias, fungos e actinomicetos que apresentam atividade predominantemente heterotrófica (MACHADO, 2005).

O Carbono orgânico (C-org) representa a maior parte do carbono no ambiente, podendo ser dividido basicamente em três componentes: o carbono disponível, carbono recalcitrante e a fração húmica. O carbono disponível é aquele que representa a principal fonte de carbono para a microbiota ambiental, como o amido, celulose, hemiceluloses, aminoacidos etc. Se considerarmos somente a fração orgânica de um resíduo, o carbono disponível deve representar em torno de 40% da sua massa seca. O Carbono Recalcitrante representa aquela fração que não pode ser imediatamente utilizada como fonte de carbono pela microbiota e que tende a permanecer mais tempo no ambiente (>5 anos), representado principalmente pela lignina, pigmentos, resinas e ceras (carbono insolúvel em água). A fração húmica é resultante de transformações complexas desse carbono recalcitrante formando o que se denomina genericamente de húmus. Esta fração húmica tende a permanecer mais tempo no ambiente e, no caso específico do solo, é a principal componente da matéria orgânica do solo (MOS) (GRACE, 2001).

Geralmente, o carbono disponível está na forma de polímeros, que para a sua utilização devem sofrer um processo de hidrólise por enzimas até a formação de unidades moleculares menores (oligômeros), para sua assimilação pela microbiota decompositora. Este processo é realizado basicamente com dois propósitos: A produção de energia (carbono oxidável) e a formação de nova biomassa (carbono imobilizado). A produção de energia é realizada por meio da respiração aeróbica ou fermentação anaeróbia e pode ser quantificada por meio da produção de $CO_2$ ou $CH_4$ no meio. A formação de biomassa é realizada pela assimilação ou imobilização das moléculas orgânicas em novas células. No caso do metabolismo microbiano, existe uma proporção mais ou menos definida para estas atividades, sendo caracterizada como 65% do carbono assimilado utilizado para a produção de energia e 35% para a produção de nova biomassa (GRACE, 2004).

Quando os resíduos orgânicos atingem o solo, a decomposição é iniciada pelos microorganismos, se as condições permitirem. Eles necessitam de carbono (C) e nitrogênio (N) para continuar seu papel na decomposição. O carbono representa a fonte de energia disponível necessária para ativação do processo de síntese celular e para oxidação enquanto o nitrogênio é o material básico para a síntese de matéria celular (MELLO, 1988). Os microorganismos necessitam de carbono como fonte de energia, de esqueletos carbônicos para sintetizar biomoléculas diversas e de nitrogênio para sintetizar proteínas. Durante a decomposição da matéria orgânica, o consumo de C é maior que o de N, isso faz com que a concentração relativa de N aumente, diminuindo por conseqüência a relação C:N. (SANTOS, 1999).

O solo é um dos compartimentos que mais armazena C. O primeiro metro superior de solo armazena 2,5 vezes mais C que a vegetação terrestre e duas vezes mais que o presente na atmosfera (BRONICK & LAL, 2005). O balanço de C no solo depende das relações entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e das perdas de C para a atmosfera, resultantes da oxidação microbiana do CO a $CO_2$ (BAYER et al., 2000). O tempo médio de permanência do C no solo é de 26 anos (SCHLESINGER, 1991).

A matéria orgânica representa a principal fonte do total da reserva de carbono terrestre, nele excedendo drasticamente a quantidade de carbono estocada. Por isso o C tem um papel fundamental nas funções que a matéria orgânica exerce sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, sendo também um constituinte de importantes gases causadores do efeito estufa (GEE), como $CO_2$ e $CH_4$ (FELLER, 2006). Nos últimos anos, tem sido dada atenção cada vez maior para o potencial da matéria orgânica do solo (MOS) no seqüestro de carbono. O seqüestro de carbono, simplificadamente, se dá através da retiranda do $CO_2$ da atmosfera e o seu armazenamento em forma orgânica no solo ou em compartimentos da planta. BERNOUX (2006), porém, propõe uma nova definição para seqüestro de carbono: todos os gases causadores de efeito estufa ($CO_2$, $CH_4$ e $N_2O$) emitidos na interface solo-planta-atmosfera de um agroecossistema específico, em um determinado espaço e tempo, comparado a um agroecossistema referencial, devem ser computados e expressos em C-$CO_2$ equivalente.

No contexto das emissões de gases de efeito-estufa (GEE) e do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), definido pelo Protocolo de Kyoto, uma das estratégias biotecnológicas mais recentes consiste em plantar florestas como fossas de remoção para as emissões de carbono. Servindo-se da flexibilidade geográfica, o MDL possibilita que regiões industrializadas reduzam suas emissões de GEE, aproveitando-se dos baixos custos de abatimento, normalmente observados nas regiões menos industrializadas. Estas, por sua vez, podem colher benefícios sociais, econômicos e ambientais, tanto com o investimento estrangeiro direto (crédito de carbono), quanto com a transferência de tecnologias limpas fomentados pelo MDL. Recentemente, um grupo de países ricos em florestas vem tentando inserir, no Protocolo de Kyoto, a estratégia da proteção (conservação das florestas existentes e prevenção do desmatamento) como alternativa à estratégia da mitigação definida pelo MDL florestal. Entre 3 e 14 de dezembro de 2007, esse grupo fez-se representar na 13ª. Conferência das Partes (COP-13), em Bali, Indonésia, para convencer os 192 signatários do acordo climático de que evitar o desmatamento ou conservar as florestas naturais pode sair mais barato do que florestar ou reflorestar (SOBRINHO, 2007).

Existem muitos trabalhos comprovando a importância do carbono do solo e da matéria orgânica do solo no balanço dos GEE. Um dos primeiros cientistas a medir o fluxo de $CO_2$ no nível solo-planta-atmosfera foi o ecofisiologista dinamarquês Henrik Lundegärdh em vários trabalhos, entre 1924 e 1930, mostrando que: um aumento de 0.01-0,32% no nível de $CO_2$ atmosférico pode modificar drasticamente o nível de $CO_2$ assimilado pela planta, que é dependente da iluminação e da temperatura; aportes orgânicos levam a um longo e persistente (mais de um ano) aumento de emissão de $CO_2$; a fertilização mineral aumenta significativamente as emissões de $CO_2$ devido a uma primeira mineralização da MOS, esse aumento junto com a fertilização, melhoram a nutrição da planta. Muitos outros autores continuaram estudando o aumento do dióxido de carbono na atmosfera e seu efeito nas plantas. ROGERS (2009) mostrou que plantas de milho, soja, pinus e liquidambar tiveram aumento na biomassa com altas concentrações de $CO_2$. Outros estudos acerca do C do solo vêm contribuindo para um melhor conhecimento sobre este elemento e seu ciclo. JACOBS et al. (2009) mostraram aumento de carbono orgânico do solo sob sistemas de manejo sem uso de gradagem, quando comparado ao sistema de manejo convencional. Esses trabalhos são

importantes para um conhecimento quantitativo sobre os efeitos do uso e das mudanças no uso do solo sobre o balanço de $CO_2$ global.

## 2.4 O Solo

Os solos formam a camada superficial da crosta terrestre, são uma mistura de partículas minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos. Os processos que ocorrem entre esses componentes têm importantes funções nos ecossistemas. O solo forma uma interface entre a geosfera, a biosfera, a hidrosfera e a atmosfera e é um recurso não renovável. O dinâmico sistema solo desenvolve funções vitais para a sociedade humana e o meio ambiente. O Solo é a base para produção de alimento e biomassa e tem um papel central como habitat para a biota e reservatório gênico. Além disso, ele armazena, filtra, tampona e transforma uma grande variedade de substâncias, inclusive a água, compostos orgânicos e inorgânicos, e é a principal fonte e dreno de gases de efeito estufa (GEE). O solo fornece matéria prima para uso humano. Também serve como base para as atividades humanas (paisagem e patrimônio) e para nossa infraestrutura técnica e sócio-econômica fornecendo materiais para sua implementação e manutenção (BLUM, 2006).

Se visualizado em um corte transversal tridimensional da camada superficial da crosta terrestre, o solo pode ser subdividido em vários horizontes. O solo é produzido por processos físicos, químicos e biológicos de intemperismo, a partir da rocha não intemperizada ou materiais soltos da rocha, como cascalho ou areia. O intemperismo químico é ajudado pela energia solar da radiação e água, na qual o $CO_2$ e outros gases atmosféricos são dissolvidos formando soluções ácidas. Processos de intemperismo físico estão baseados em ciclos de congelamento e descongelamento, radiação direta, e mudanças de temperatura, assim como pela condução mecânica da água, gelo ou vento. Através desses processos de trituração mecânica, a área de superfície do material rochoso é aumentada criando espaço para os processos químicos, que são principalmente reações na superfície das partículas. Assim que os primeiros produtos do intemperismo, como minerais de argila e óxidos, estão presentes, a biota começa a se desenvolver, formando inicialmente uma escassa e depois mais densa cobertura vegetal de superfície, que converte energia solar em biomassa. Essas substâncias orgânicas são devolvidas depois de décadas para o solo, onde são convertidas em matéria orgânica pela bioturbação física e mineralização biológica/bioquímica e processos de imobilização (BLUM, 2006).

Através desses processos, minerais e matéria orgânica são misturados formando um horizonte do solo que contém altas quantidades de matéria orgânica. A diversidade e quantidade da biota do solo aumentam com o tempo. Esses processos continuam aumentando a profundidade de intemperismo do solo e formam um novo substrato, que é totalmente diferente do material da rocha matriz (BLUM, 2006).

### 2.4.1 Física do solo

Os indicadores de qualidade física do solo mais utilizados são: profundidade efetiva de enraizamento; a porosidade total; distribuição e tamanho dos poros; distribuição do tamanho das partículas; densidade do solo; resistência do solo à penetração das raízes; intervalo hídrico ótimo; índice de compressão e a estabilidade dos agregados. Estes indicadores são importantes para a infiltração de água no solo, escoamento superficial, drenagem e erosão. Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo. As propriedades físicas mais importantes são a textura, que depende do tamanho das partículas, e a estrutura, definida pelo arranjamento das partículas em agregados. A estabilidade dos agregados é influenciada pela textura, teor de óxidos de ferro e alumínio,

teor de matéria orgânica, sílica coloidal, metais polivalentes, carbonato de cálcio, atividade dos microorganismos e manejo dos solos (ZATORRE, 2009).

Os macroagregados (>250 μm) são menos estáveis que os microagregados (<250 μm) e, portanto, mais susceptíveis à quebra em conseqüência do cultivo do solo. A divisão dos agregados em classes de tamanho está baseada em propriedades tais como ligantes e relação carbono/ nitrogênio (C/N) no solo. O tipo de vegetação também interfere na estruturação dos solos. Para a formação de agregados no solo é necessária uma força mecânica que provoque a aproximação das partículas do solo. Esse movimento pode ser causado pelo crescimento das raízes, por animais de hábito terrestre, pelo fenômeno da expansão e contração do solo provocado pelo molhamento e secamento alternado ou pela floculação. Também é necessário que haja um agente cimentante para consolidar essa união, gerando o agregado. Existem vários agentes cimentantes, como por exemplo, os óxidos de ferro nos Latossolos principalmente; a matéria orgânica, nos solos menos intemperizados; e as substâncias produzidas pelos microrganismos no solo, como os polissacarídeos produzido pelas bactérias e a glomalina pelos FMA (ZATORRE, 2009).

### 2.4.2 Química do solo

As propriedades químicas de um solo dependem da classe do solo, do comportamento químico dos nutrientes, da cobertura vegetal, do manejo. Existem alguns indicadores químicos do solo como: a capacidade de troca de cátions (CTC); o fósforo (P); o pH do solo; a saturação por alumínio e saturação de bases; o potássio (K); a mineralização do nitrogênio (N); a matéria orgânica do solo.

A CTC de um solo influencia na fertilidade, pois é a capacidade total de retenção de cátions, os quais irão tornar-se disponíveis para as plantas. A disponibilidade de P depende da textura e do teor de matéria orgânica no solo. A retenção do P no solo ocorre tanto pela precipitação do P em solução com íons de ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca), como principalmente pela sua adsorção pelos oxi-hidroxidos de Fe e de Al, presentes em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados, principalmente nos mais argilosos. O pH é influenciado pelas características químicas e biológicas do solo. É um importante parâmetro de acompanhamento do processo de decomposição, indicando a evolução da degradação microbiológica da matéria orgânica. É um fator chave para a dissolução de certos elementos minerais quando do contato líquido-sólido. Quanto maior for a presença de espécies de minerais de argila com dominância de cargas dependentes do pH ou da matéria orgânica, quanto maior será a influência do pH na CTC. A saturação de base pode influenciar o complexo de troca da solução do solo e a acidez, indicando a fertilidade natural. A disponibilidade de K para as plantas é influenciada por fatores relacionados com os solos, com a própria planta e com o clima. O aumento da matéria orgânica no solo promove o aumento da CTC, que por sua vez possibilita a maior quantidade de retenção de K. Em solos onde a CTC é baixa, o K é facilmente lixiviado (ZATORRE, 2009).

### 2.4.3 A matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) contribui significativamente para as funções químicas, físicas e biológicas do solo. Influencia no crescimento da planta contribuindo para a produção agrícola e executa valiosos serviços ambientais. Funciona como reserva de nutrientes para a planta e para a biota do solo (decomposição, processo de mineralização), servindo no armazenamento e disponibilidade de nutrientes e na fertilidade do solo. É reserva de energia para a biota do solo e forma um macro e micro habitat. Regula a população biológica, inclusive doenças e pragas e contribui para a biodiversidade. Age na formação e

estabilização dos agregados do solo, responsáveis pelo fluxo e armazenamento de água, e na regulação do movimento do solo e dos sedimentos. Tem função na decomposição, sorção e na transformação dos elementos. Ajuda na desintoxicação de poluentes químicos e biológicos (inclusive purificação da água). Influencia o dreno e fonte de GEE, regulando a composição da atmosfera e o clima (FELLER, 2006).

Na natureza, a matéria orgânica é produzida principalmente pelas plantas, através da conversão do $CO_2$ atmosférico em compostos contendo carbono, durante o processo de fotossíntese. O termo "matéria orgânica do solo" (MOS) refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas. Ela é gerada a partir da decomposição dos resíduos de plantas e animais, sendo formada por diversos compostos de carbono em vários graus de alteração e interação com as outras fases do solo (mineral, gasosa e solução). A composição da MOS é extremamente complexa em função da mistura de diferentes compostos e à grande variedade de processos naturais de degradação e síntese que ocorrem na sua formação. A MOS é composta por diferentes compartimentos (SILVA et al., 2006):

1) Fração "leve" – é a fração composta de resíduos de plantas em vários estágios de decomposição e localizados no interior do solo. Sua composição química é comparável à liteira (material orgânico presente na superfície do solo formado por tecidos de plantas e animais não decompostos e pelos produtos de sua decomposição parcial. A liteira não é componente da MOS, devendo por isso ser excluída quando da amostragem de solo para fins de avaliação da fertilidade.), pois mantém identidade com o material de origem, e a quantidade no solo é variável, de 2 a 30% da MOS, sendo influenciada por fatores climáticos, tipo de manejo e características do solo, especialmente a textura e demais variáveis que afetam a taxa de decomposição (pH, temperatura, umidade, entre outros).

2) Biomassa microbiana – é a matéria orgânica presente no solo como tecido microbiano vivo. A biomassa microbiana pode atuar, primeiramente, como agente de decomposição dos resíduos adicionados ao solo onde concorre com as plantas pelos nutrientes, podendo, inclusive, causar imobilização temporária, principalmente de nitrogênio. Em outra etapa, funciona como um compartimento que libera rapidamente os nutrientes às plantas no processo de mineralização dos resíduos e morte dos organismos.

3) Substâncias não-húmicas ou biomoléculas – deste grupo fazem parte diversos compostos orgânicos que se encontram no solo e que pertencem a conhecidas classes de bioquímicos, como os carboidratos, os aminoácidos, as gorduras, as resinas e os ácidos orgânicos de baixo peso molecular. São compostos produzidos continuamente através do ciclo dos organismos vivos no solo (sintetizados pelos microrganismos ou liberados pelas raízes das plantas), apresentando composição e estrutura química bastante conhecidas. As biomoléculas têm influência nas reações ácido-base, na complexação de metais e na agregação das partículas do solo. Sua quantidade no solo é variável (5 a 25%) mas, de maneira geral, persistem apenas por curtos períodos de tempo no solo devido a facilidade com que são transformadas pelos microrganismos.

Dentre algumas biomoléculas importantes destaca-se a glicoproteína glomalina. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) ao formarem a simbiose com as plantas, exploram o solo formando uma rede de hifas que envolve os agregados conferindo estabilidade aos mesmos (JASTROW & MILLER, 1997). Esta rede de hifas excreta uma proteína denominada glomalina, sendo responsável pela adesão a materiais de origem mineral, aumentando a ligação entre eles (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996). Glomalinas são fontes ativas de exsudatos orgânicos sendo os mais prováveis agentes na estabilização de agregados (OADES, 1984) por promoverem a reorientação e aproximação dos migroagregados pela sua expansão e

dessecamento localizados. Além disso, a glomalina é considerada uma enorme fonte de carbono da matéria orgânica do solo contribuindo para melhor qualidade edáfica e estabilidade do ambiente (RILLIG et al., 2003).

4) Substâncias húmicas ou húmus estável – praticamente todos os compostos de carbono gerados na decomposição dos resíduos orgânicos sofrem processos de ressíntese chamados de humificação, formando um material genericamente conhecido como húmus. São compostos orgânicos com peso molecular relativamente alto, de coloração escura e gerados em reações secundárias de síntese. Constituem quase a totalidade da MOS e, devido à sua grande reatividade, são a fração envolvida na maioria das reações químicas no solo. O húmus formado no processo de humificação pode encontrar-se no solo intimamente associado a outros constituintes e mesmo dentro de agregados. Portanto, além dos processos bioquímicos, a sua estabilização pode envolver reações, como adsorção e precipitação com partículas de natureza inorgânica. Devido a essa complexidade química, essas substâncias não são facilmente atacadas pelos microrganismos do solo. Assim, decompõem-se muito lentamente, acumulando-se na natureza como MOS.

### 2.4.4 Substâncias húmicas

As substâncias húmicas surgem da degradação de resíduos de plantas e animais e da atividade sintética de microorganismos, sendo produto da intensa transformação dos resíduos orgânicos pela biomassa e polimerização dos compostos orgânicos (principalmente através de reações de condensação, de metilação, e oxidação) até macromoléculas resistentes à degradação biológica. São substâncias amorfas, parcialmente aromáticas, principalmente hidrofílicas e quimicamente complexas, por isso pouco se sabe sobre sua origem, síntese, estrutura química e funções. É um sistema de polímeros que variam de uma forma sistemática respeitando a análise elementar, acidez, grau de polimerização e peso molecular (WIESINIESKI, 2009).

São os componentes mais estáveis da matéria orgânica, representando até 80% do carbono presente nos solos. A estrutura e composição das substâncias húmicas parecem ser influenciadas, dentre outros parâmetros, pelo material de origem e pelo pH. Possuem alta CTC, sendo sua principal reguladora. Quando combinadas com argilas, formam agregados que facilitam a aeração. Formam complexos com macro e micronutrientes, influenciando, dessa maneira, a disponibilidade destes para as plantas, reagindo também com pesticidas e metais como chumbo e alumínio (WIESINIESKI, 2009).

As substãncias húmicas (SH) são divididas quimicamente em três constituintes principais: fração ácidos fúlvicos, fração ácidos húmicos e fração humina. Essa divisão tem como base a solubilidade desses compostos.

1) Fração ácidos fúlvicos: cor amarelo-parda e solúvel em qualquer valor de pH da solução. Quimicamente são constituídos, sobretudo, por polissacarídeos, aminoácidos, compostos fenólicos, etc. Apresentam um alto conteúdo de grupos carboxílicos e seu peso molecular é relativamente baixo. Combinam-se com óxidos de Fe, Al, argilas e outros compostos orgânicos. Possuem propriedades redutoras e formam complexos estáveis com Fe, Cu, Ca e Mg.

2) Fração ácidos húmicos: cor castanho-escura e solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído. Quimicamente são muito complexos, formados por polímeros compostos aromáticos e alifáticos com elevado peso molecular, e grande capacidade de troca catiônica. Combina-se com elementos metálicos formando humatos, que podem precipitar (humatos de cálcio, magnésio, etc.) ou permanecer em dispersão coloidal (humatos de sódio, potássio, amônio, etc.).

3) Fração humina: insolúvel e que permanece ligada a matriz mineral do solo. A fração humina das SH é descrita quimicamente como sendo constituída de macromoléculas estáveis, intimamente ligadas aos colóides inorgânicos do solo, por isso é a forma mais estável da MO no solo. Recentemente, verificou-se que a estabilidade das HU está muito mais relacionada com a inacessibilidade delas aos microrganismos do solo por proteção devido à interação com os colóides inorgânicos do solo do que com a estabilidade química proporcionada por suas estruturas orgânicas. Como essa é a fração mais estabilizada das SH, por estar intimamente ligada aos colóides inorgânicos do solo, provavelmente as huminas são as principais responsáveis pelo seqüestro de C no solo (VALLE, 2006).

A relação C/N dos ácidos húmicos e fúlvicos é superior em 50% à média observada na matéria orgânica do solo, indicando seu menor grau de degradação, conferindo-lhe maior estabilidade no ambiente. Os ácidos húmicos possuem maior conteúdo de C e menor de O, e consequentemente, uma massa maior que os ácidos fúlvicos. Com o grau de polimerização relativamente maior dos ácidos húmicos, é possível constatar um estágio mais avançado de humificação. Entretanto, os ácidos fúlvicos contém mais agrupamentos – COOH por unidade de massa em relação aos ácidos húmicos e, juntamente com a soma dos grupamentos fenólicos, caracterizam maior acidez total, apresentando maior Capacidade de Troca Catiônica (CTC) que os ácidos húmicos. Mesmo quando comparado com uma argila silicatada 2:1, as substâncias húmicas superam na capacidade tampão do solo.

LIMA (2004) citou que os ácidos húmicos influenciam a fertilidade do solo por meio de uma melhoria geral das condições químicas e físicas para a atividade biológica tendo, além disso, substâncias ativas fisiologicamente, podendo influenciar também a biota rizosférica, particularmente os FMAs.

NICHOLS & WRIGHT (2005) mostraram em seu trabalho que parte da glomalina dos solos é extraída junto com ácidos húmicos e humina. Eles recomendam, portanto, que seja feita extração de glomalina antes da extração de substâncias húmicas, na mesma amostra de solo, aumentando a pureza das substâncias húmicas. Conclui-se então que boa parte do C das substâncias húmicas pode ser na verdade originária da glomalina, contida nestas substâncias.

## 2.5 Cobertura Vegetal

Em um sistema de manejo agrícola em que se empregam operações com intenso revolvimento do solo, como o sistema convencional baseado em sucessivas arações e gradagens, a taxa de perda de carbono normalmente é maior que a taxa de adição, resultando no decréscimo dos teores de MOS originais, o que geralmente vem acompanhado da degradação do solo. Com os sistemas conservacionistas de preparo do solo, especialmente cultivo mínimo e plantio direto, os resíduos orgânicos passaram a ser mantidos na superfície do solo, diminuindo sua decomposição, ou seja, favorecendo o acúmulo de MOS, o que normalmente está associado à recuperação da capacidade produtiva do solo. A MOS depende fundamentalmente do balanço entre a quantidade de carbono adicionado e da taxa de decomposição, o que deve ser levado em consideração, entre outros aspectos, na escolha das práticas agrícolas que determinam o uso e manejo do solo (LOUREIRO, 2008).

Apesar da grande dinâmica que envolve os processos de formação e decomposição da MOS, atinge-se um determinado ponto de equilíbrio entre as taxas de adição e de perda, denominado “estado estável”, a partir do qual o seu teor apresenta-se estável ao longo do tempo (ex: solos de floresta e de campo nativo). Se nesse local for implantado um novo sistema de produção agrícola, com mudanças no tipo e quantidade de resíduos vegetais (definido pelo sistema de rotação/sucessão de culturas empregado) ou ainda pelo maior ou menor revolvimento do solo (definido pelo sistema de preparo do solo), o teor de MOS será

alterado até que se atinja um novo “estado estável”, ou seja, um novo ponto de equilíbrio entre as novas taxas de adição e de perda de carbono no solo (SILVA et al., 2006).

Segundo ALTIERI (2001), a agroecologia apresenta os seguintes elementos técnicos: conservação e regeneração dos recursos naturais (Solo, água, recursos genéticos, além da fauna e flora benéficas); manejo dos recursos produtivos (diversificação, reciclagem dos nutrientes e da matéria orgânica e regulação biótica); e a implementação de elementos técnicos (definição de técnicas ecológicas, escala de trabalho, integração dos elementos do sistema em foco e adequação à racionalidade dos agricultores).

Em sistemas agroecológicos complexos, interações de caráter positivo entre a biota do solo promovem melhorias em sua estrutura e fertilidade, resultando em ambiente favorável a inúmeros processos biológicos. Processos biológicos, tais como o aumento da colonização por fungos micorrízicos, transformação da matéria orgânica, estocagem de nutrientes, entre outros indicativos de aumento na atividade biológica do solo, são indicativos das mudanças ocorridas no ambiente pelas práticas de manejo e cobertura vegetal adotada e respondem mais rapidamente às mudanças do que os atributos químicos e físicos do solo (LOUREIRO, 2008).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são formas de cultivo múltiplo baseadas na interação entre árvores e outras plantas manejadas para produção agrícola ou pecuária. As árvores geram muitos benefícios para a produção agrícola, dentre eles a ciclagem de nutrientes, a diversificação da produção, a proteção contra pragas e doenças, a melhoria da cobertura e estrutura do solo. Este último aspecto revela o potencial dos SAFs também na regulação dos ciclos hidrológicos, favorecendo a infiltração das águas, reduzindo os processos erosivos, assim como diminuindo a necessidade de aplicação de insumos químicos, o que se traduz em economia para o agricultor e evita a contaminação das águas.

Como exemplo de um SAF, temos o caso de experimentação por parte dos agricultores da Zona da Mata mineira junto com a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e o Centro de tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM). Segundo FERRARI (2010), a região onde antes predominava Mata Atlântica foi substituída por café e pastagem a partir de 1970. A mudança de cobertura vegetal associada ao monocultivo e ao uso intensivo de insumos químicos ocasionou degradação dos solos diminuindo o potencial de armazenamento das águas das chuvas nas encostas e nos topos de morro. Muitas nascentes tornaram-se intermitentes e na época das chuvas, grandes volumes de escoamento superficial intensificam os processos erosivos, prejudicando a produção agrícola e assoreando e contaminando as águas superficiais. Como alternativa ao modo de produção agrícola predominante, surgiram as iniciativas de SAFs, mostrando resultados na melhoria da qualidade do solo, o aumento da agrobiodiversidade e a recuperação de nascentes de água.

Percebe-se que a adequação da produção agrícola familiar à preservação ambiental apresenta-se como aspecto de grande relevância no contexto atual de discussão em torno do Código Florestal, já que cada propriedade familiar representa uma fração significativa de Área de proteção Permanente (APP) em relação à área total.

## 2.6 Biologia do Solo

Grande parte da biodiversidade dos agroecossistemas está no solo. A função que a biota do solo desempenha, tem efeitos diretos e indiretos no crescimento e qualidade da cultura, nos organismos patogênicos do solo e dos restos vegetais, incidência de doenças, a qualidade da ciclagem dos nutrientes e transferência de água, e, portanto, na sustentabilidade dos sistemas de cultivo agrícola.

A biota do solo vive em uma estrutura complexa. Os componentes orgânicos e minerais determinam as condições do habitat e a disponibilidade de alimentos. As características geométricas dos espaços dos poros do solo são de importância crucial para os

processos bioquímicos que governam a vida no solo. A porosidade, a saturação dos poros e a forma como eles estão conectados dependem e afetam as condições bióticas e abióticas. A estrutura heterogênea do solo é um elemento chave influenciando a diversidade de organismos. Tem um potencial excepcional para formação de nichos e especialização de habitat, tornando possível também a coexistência entre diferentes grupos funcionais de organismos, sejam eles pequenos ou grandes. A estrutura dos poros em sistemas agrícolas é determinada não só pela natureza química do material e clima, mas também pela vida (raízes, fauna e manejo). Junto com a ação do clima, as atividades dos organismos provocam a movimentação de materiais orgânicos e inorgânicos no perfil do solo, contribuindo para a formação e estabilidade da estrutura do solo (YOUNG & CRAWFORD, 2004).

Os microrganismos podem ser utilizados como sensíveis bioindicadores da qualidade do solo. Segundo DORAN & PARKING (1994), bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento, que é a medida da resposta de organismos vivos a mudanças no seu ambiente (WITTIG, 1993).

A biomassa microbiana do solo é considerada um compartimento não protegido da MOS, com tempo de ciclagem médio, em solos de regiões tropicais, de três meses. Dentre os atributos biológicos sensíveis às alterações nos sistemas de manejo do solo e culturas, destaca-se a biomassa microbiana, que representa a parte viva da MOS e contém, em média, de 2 a 5% do C e até 5% do nitrogênio total nos solos tropicais. É o componente da matéria orgânica do solo que regula as transformações e armazenamento de nutrientes através dos processos de imobilização e mineralização. É o principal componente do subsistema de decompositores, regulando a ciclagem de nutrientes, fluxo de energia e a produtividade das culturas e do ecossistema. (LOUREIRO, 2008).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) formam uma parcela significativa da biomassa microbiana no solo, representando mais de 90% da atividade biológica do solo (SIDDIQUI & PICHTEL, 2008).

## 2.7 Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microorganismos simbiontes obrigatórios e ubíquos pertencentes ao Filo Glomeromycota (MORALES et al., 2005) que formam associações mutualísticas com raízes da maioria das plantas superiores.

Os FMA recebem carbono, sob a forma de hexose - açúcares simples, proveniente dos produtos da fotossíntese das plantas terrestres. Em contrapartida, o fungo fornece nutrientes para a planta, incluindo os essenciais como o fosfato e N, aumentam a tolerância ao estresse hídrico e a eficiência fotossintética (SMITH & READ, 1997).

Estudos têm demonstrado a importância destes organismos na captação de nutrientes e micronutrientes, proteção frente à patógenos da raíz, tolerância à fitotoxicidade por Al, Mn e déficit hídrico sendo estes fungos responsáveis nas comunidades vegetais pela diversidade de espécies de plantas (MORALES et al., 2005). Como resultado destes múltiplos níveis de dependência da planta ao fungo micorrízico, a associação acaba por influenciar na modelação da estrutura da paisagem sendo um dos componentes definidores da diversidade de espécies vegetais e da produtividade primária (BERBARA et al., 2006). Por isso, também, estes organismos podem contribuir muito para a resiliência de ecossistemas, principalmente em regiões semi-áridas.

Segundo BERBARA et al. (2006), os serviços prestados pelo fungo vão muito além da nutrição de plantas individualizadas, pois eles também contribuem para a estruturação de comunidades vegetais. A rede de micélios interconecta diversas plantas ao mesmo tempo. As

conseqüências dessa trama micelial para a competição interespecífica em comunidades vegetais sugerem que ela seja elemento importante na definição da sucessão vegetal.

Os FMAs são importantes fatores de qualidade do solo através dos seus efeitos na fisiologia da planta, interações ecológicas no solo e sua contribuição para manutenção da estrutura do solo. Isso reflete a importância da simbiose a nível individual da planta, na ecologia das comunidades, e influenciando processos em escala de ecossistema, respectivamente.

No trabalho de Berbara, ainda não publicado, também realizado no Parque Estadual da Mata Seca, houve relação entre riqueza e abundância de plantas com o equivalente em FMAs. A área de sucessão intermediária de floresta seca, foi a que teve maior diversidade vegetal.

As estruturas do fungo estão presentes no solo e dentro da planta. O micélio intraradical consiste de hifas e outras estruturas como arbúsculos (sítios de troca de carbono e nutrientes com o simbionte) e vesículas (sítios de armazenamento de lipídeos para o fungo). Estas estruturas estão conectadas com o micélio externo. Este por sua vez forma os esporos e explora o solo e novas áreas para colonização e absorção de nutrientes.

Além do ambiente e dos genomas da planta e do fungo, a densidade de propágulos (esporos, hifas, raízes colonizadas por FMAs) pode influenciar a taxa de colonização, bem como a resposta à micorrização (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Estudos como o de LUGO et al. (2003) têm demonstrado que variações sazonais na colonização dos FMAs estão relacionadas com os eventos fenológicos da planta hospedeira. Entretanto AZCÓN-AGUILAR & BAREA (1997) relatam que modificações na cobertura vegetal, no microclima e no manejo dos ecossistemas podem alterar a densidade dos FMA e a eficiência com que a associação micorrízica intervém nos fluxos de nutrientes e no crescimento vegetal. MUNYANZIZ et al. (1997) observaram que em florestas não perturbadas a densidade de glomerosporos de FMAs foi muito baixa e aumentou com a ocorrência de baixo ou moderado grau de perturbação. CLAPP et al. (1995) apontam a variação da cobertura vegetal como fator que afeta diretamente a multiplicação dos fungos.

Os FMAs contribuem muito para a agregação do solo. Isto ocorre porque eles são organismos muito abundantes e ubícuos no solo, já que têm acesso direto ao C do solo não precisando concorrer pelo carbono da matéria orgânica, diferente dos fungos saprofíticos. O crescimento da hifa ajuda na estabilização da estrutura, e a relativa persistência da hifa e seus produtos, ajudam na estabilização de agregados a longo prazo.

KOHLER et al. (2009) mostrou que em regiões áridas e semi-áridas do Mediterrâneo, com o aumento da concentração do $CO_2$ atmosférico e escassez de água, houve melhora na estabilidade dos agregados do solo pela contribuição dos fungos micorrízicos arbusculares e bactérias promotoras do crescimento de plantas. WILSON (2009) apresentou correlação entre abundância de hifas de FMA com agregação do solo e seqüestro de C.

Os FMAs cumprem um papel fundamental no armazenamento C e na agregação do solo, devido a uma glicoproteína denominada glomalina, com forte capacidade cimentante e alta estabilidade no solo, produzida pelas hifas do fungo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998).

## 2.8 Glomalina

O comportamento recalcitrante da glomalina junto à sua natureza glicoprotéica e sua aparente característica hidrofóbica, que protege as hifas de perdas de nutrientes e água, sugere que é uma biomolécula muito estável (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998) com uma vida média entre 6-42 anos (RILLIG et al., 2001) e lenta velocidade de degradação que depende do solo de origem (RILLIG et al., 2003). A repelência à água influencia na proteção contra a erosão dos solos, por isso estas proteínas fúngicas, semelhantes às hidrofobinas produzidas

por fungos filamentosos, poderiam estar contribuíndo para a estabilidade estrutural dos solos (MORALES et al., 2005).

A extração e solubilização da glomalina do solo requer extratores com forte capacidade quelante e temperatura de 121º C durante 1 hora no mínimo, o que a faz diferente de outras proteínas do solo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996). A glomalina é encontrada com relativa abundância (2-15 mg $g^{-1}$) em uma ampla classe de solos, sejam ácidos ou calcários e sob diversos cultivos, como pradarias, cereais, espécies florestais, etc. (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; RILLIG et al., 2001; 2003; MORALES et al., 2005) parecendo ser tão ubícua como os FMAs que a originaram. Cultivos *in vitro* com esporos de FMA têm demonstrado que a glomalina forma parte das paredes das hifas e esporos, sugerindo que a chegada e permanência dela no solo se deve, principalmente, à liberação produzida pela decomposição de hifas e esporos e, em menor grau, devido à exudação desta proteína em seu entorno imediato (MORALES et al., 2005). A glomalina facilmente extraível (GFE) representa depósitos recentes protegidos da degradação, enquanto a glomalina total (GT) pode representar a menor porção da matéria orgânica extremamente persistente no solo. Essa relação indica que a GFE pode ser usada como uma medida simples para avaliar relações entre a estabilidade de agregados e práticas agronômicas (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; RILLIG et al., 2001).

# 3 MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1 A Área Estudada

A área estudada é de área de Floresta Tropical Seca, localizada no Parque Estadual da Mata Seca (PEMS), no Município de Manga, Norte do estado de Minas Gerais, na bacia hidrográfica do Alto São Francisco, próximo da divisa com o estado da Bahia. O PEMS tem uma área de 10.281,44 hectares e está localizado entre os municípios de São João das Missões e Matias Cardoso, entre as coordenadas geográficas de 43°97'02"S – 14°64'09"W e 44°00'05"S – 14°53'08". (SANTOS, 2010).

Este parque foi criado pelo decreto nº 41.479, de 20 de dezembro de 2000, com a finalidade de proteger a fauna e a flora regionais, as nascentes dos rios e córregos da região, além de criar condições ao desenvolvimento de pesquisas e estudos. A área destinada ao PEMS é de 10.281ha (Figura 2) (IEF, 2000; DART, 2008) .

A cobertura vegetal da área, assim como todo o Norte de Minas Gerais, é naturalmente complexa, composta por formações vegetais distintas, dominantemente caducifólias, insere-se na ampla faixa transicional entre os domínios do cerrado e da caatinga. Além das formações decíduas, destacam-se florestas perenifólias que recobrem ainda porções significativas das várzeas do rio Verde Grande e, principalmente, do rio São Francisco. O PEMS está inserido no bioma caatinga, sendo as manchas de floresta decídua de alto porte os principais bióticos do parque em diferentes graus de regeneração.

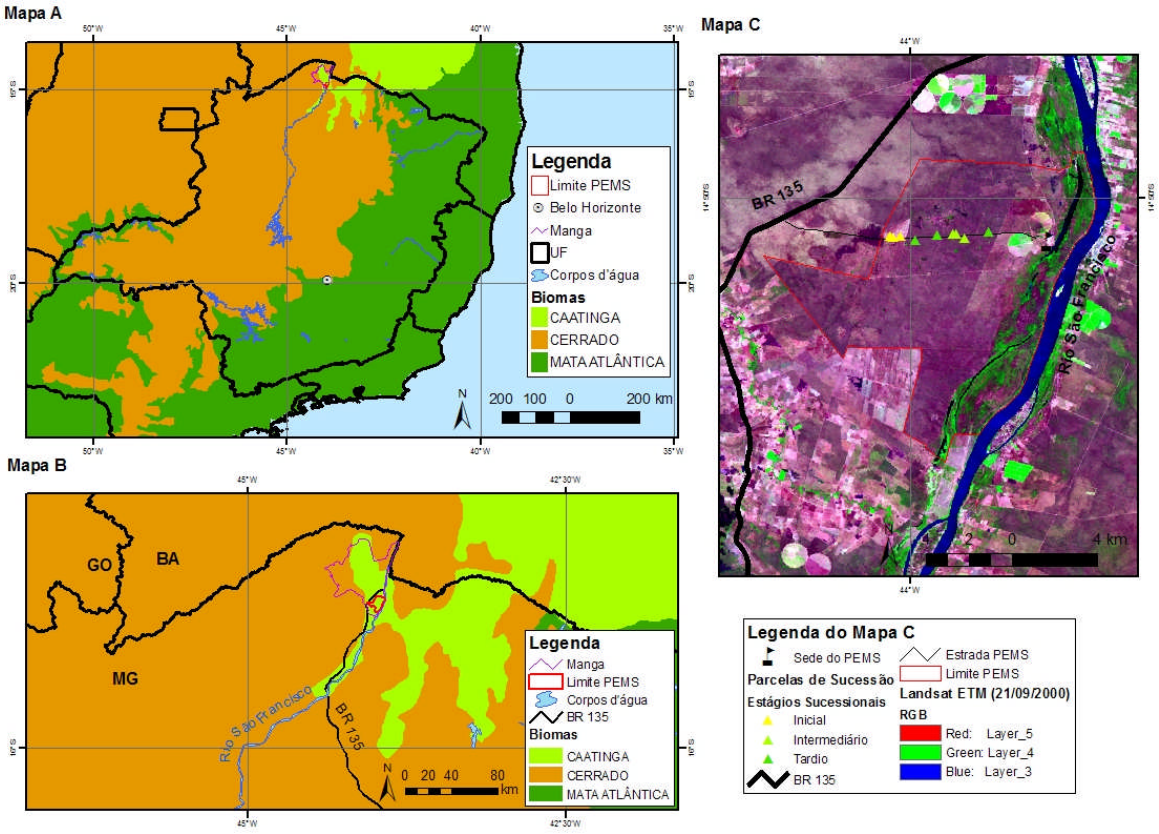


**Figura 2.** Mapa da Localização do PEMS e dos biomas

De acordo com a classificação de Köppen a região apresenta o clima do tipo Aw, definido como tropical úmido, caracterizado pela estação seca bem acentuada no período de inverno, com precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm e temperatura média anual variando de 24°C a 26°C. A temperatura média máxima anual é de 32°C, enquanto que a média mínima anual está em torno de 18,5°C e a pluviosidade média anual de 660 mm. No município de Manga a pluviosidade média anual é de 916 mm. As chuvas são irregulares e concentradas nos meses de verão. A evapotranspiraçáo potencial anual está em torno de 1290 mm e o déficit hídrico em 460 mm aproximadamente (SANTOS, 2010).

De acordo com o mapa de solos da Embrapa, disponível para a área de estudo, o tipo de solo predominante no Parque Estadual da Mata Seca em nível de Ordem, é da classe Latossolo, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa Solos, 1997). Ocorre uma pequena presença de Neossolos Flúvicos às margens do rio São Francisco (Figura 3).

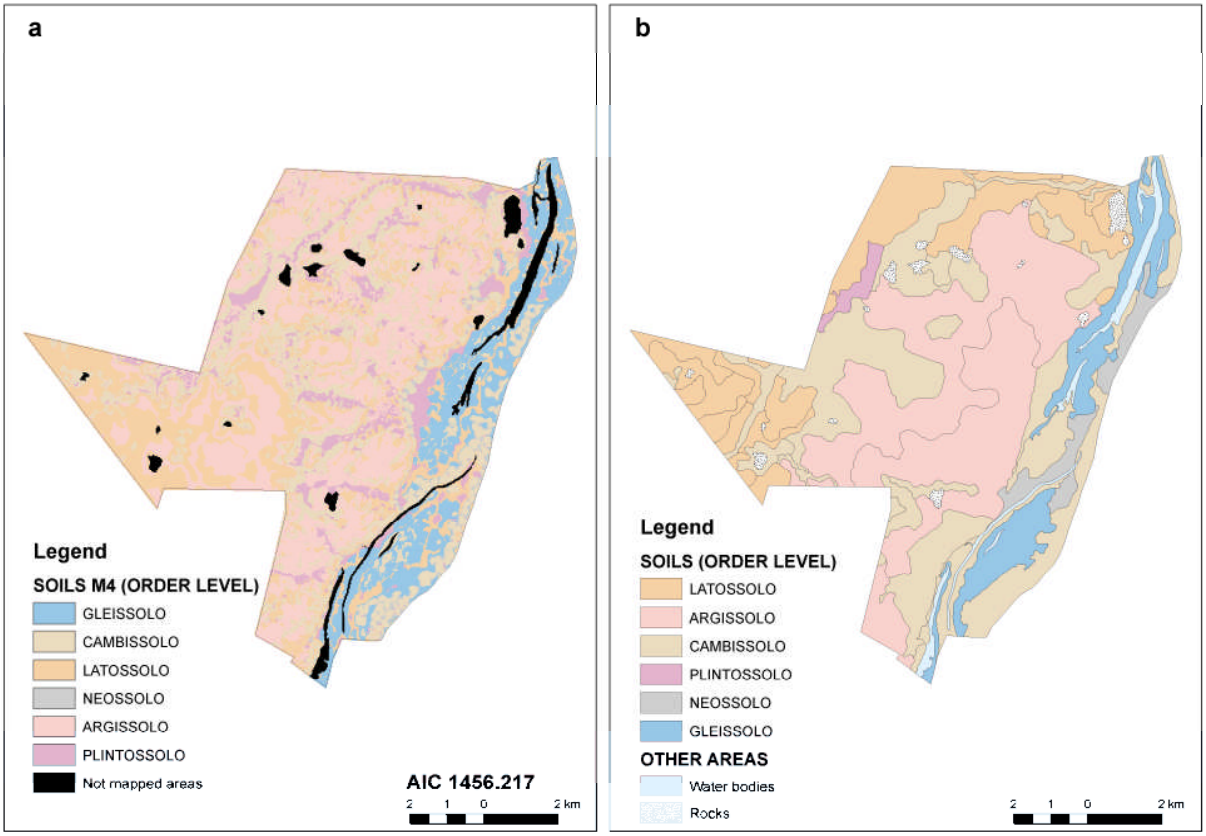


**Figura 3.** Mapa digital dos solos da reserva estadual da Mata Seca – MG (Embrapa Solos, 1997).

### 3.2 Coleta das Amostras

Amostras de solo foram coletadas no mês agosto de 2009, na profundidade de 0-10cm. Estas amostras foram utilizadas para as análises de glomalina, glomerosporos, substâncias húmicas, Corg, CTC e granulometria. Foram coletadas também amostras de 10-20cm e 20-40cm, que foram somente utilizadas para as análises de CTC, Corg e granulometria. Estas três últimas análises não foram realizadas na amostra da área de pastagem. Os dados das análises químicas do solo foram obtidos no trabalho de SANTOS (2010), também realizado nesta mesma área e nestes mesmos pontos de coleta de solo. Estas coletas e análises, porém, foram realizadas pela Embrapa Solos no Rio de Janeiro em fevereiro de 2008.

As amostras foram coletadas em diferentes estágios sucessionais da floresta, sendo 4 tratamentos: início de sucessão, sucessão intermediária e floresta preservada (sem registro de intervenção antrópica) e área desflorestada ocupada por pasto. Para cada tratamento foram feitas 3 amostras compostas por 10 subamostras, totalizando assim 36 amostras de solo.

A área de pasto é coberta por gramínea e está aproximadamente 5 anos sem sofrer intervenção antrópica. A área de início de sucessão vegetal está há aproximadamente 8 anos em processo de regeneração espontânea. A área de sucessão vegetal intermediária está aproximadamente há 17 anos sem intervenção antrópica. A área tardia é sem intervenção humana.

### 3.2.1 Substâncias húmicas

O fracionamento húmico foi realizado conforme a metodologia de BENITES (2003). Para cada amostra foram feitas 3 repetições laboratoriais. Foi pesado 1g de solo em tubo Falcon (de centrífuga) de 50 mL, adicionados 20 mL de NaOH 0,1 mol $L^{-1}$ , homogeneizado em vortex e deixado em descanso por 24hs. Depois foi centrifugado a 5000rpm por 30min, o sobrenadante recolhido e guardado. Adicionou-se mais 20 mL de NaOH 0,1 mol $L^{-1}$ a cada amostra. Estas foram homogeneizadas até o desprendimento e resuspensão do precipitado, e deixadas em repouso por 1 h. Então foram centrifugadas novamente a 5.000 rpm por 30 min, recolhendo o sobrenadante junto ao previamente reservado (extrato alcalino pH 13,0). O precipitado foi reservado (para humina). Ajustou-se o pH do extrato alcalino para pH 1,0 (± 0,1), pela adição de gotas de solução de $H_2SO_4$ 20%. Este foi decantado por 18 h. O precipitado foi separado em papel de filtro, recolheu-se o líquido filtrado e este teve seu volume completado para 50 mL usando $H_2O$ destilada (fração ácidos fúlvicos). Adicionou-se NaOH 0,1 mol $L^{-1}$ sobre o precipitado retido no papel de filtro até a sua completa lavagem completa e o volume foi completado para 50 mL usando $H_2O$ destilada (fração ácidos húmicos). O precipitado de solo reservado para quantificação de humina foi transferido quantitativamente (sem perdas de material) para tubos de digestão, utilizando o mínimo de líquido possível (±10 mL); Secou-se em estufa aquecida a 65°C (fração humina). A quantificação do ácido húmico e fúlvico foi feita através de titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol $L^{-1}$ e da humina com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol $L^{-1}$.

### 3.2.2 Fungos micorrízicos arbusculares

#### 3.2.2.1 Extração de esporos

Os glomerosporos foram extraídos de 50g de solo, fazendo 3 repetições laboratoriais para cada amostra, seguindo a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963), utilizando um jogo de peneiras com malha de 71 e 38 micrômetros, seguida por centrifugação em água e posteriormente em sacarose a 45% (DANIELS & SKIPPER, 1982). A contagem foi feita em placa com anéis concêntricos, com auxílio de estereomicroscópio (40x). Na sequência, os esporos foram transferidos para uma placa de Petri e uma quarta parte do total dos esporos foi separada aleatoriamente. Estes foram separados pelas características de tamanho, cor e forma, e colocados em lâminas com álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) sob uma lamínula. Na mesma lâmina foi colocado um segundo grupo de esporos com reagente de Melzer e quebrados delicadamente, sob uma lamínula para exposição das paredes internas. Foram realizados estudos para conhecimento da morfologia dos esporos de FMA.

#### 3.2.2.2 Extração e quantificação de glomalina

A extração da proteína do solo relacionada à glomalina (PRSG), frações denominadas glomalina total (GT) e glomalina facilmente extraível (GFE), foi realizada pelo método de BRADFORD (1976) modificada por WRIGHT & UPADHYAIA (1998). Foram feitas 8 repetições laboratoriais na extração e análise de GT e 9 repetições na GFE.

Para a extração foram utilizadas amostras de um grama de terra fina seca ao ar (TFSA), depositadas em tubos Falcon de 50 ml, específicos para centrifugação. Na extração de GFE foram adicionados 8 ml de solução extratora de citrato de sódio 20 mM a pH 7,0. As amostras foram homogeneizadas em vortex, autoclavadas à temperatura de 121 C por 30 minutos e em seguida centrifugadas a 7350g (5000rpm) por 15 minutos. O extrato sobrenadante foi cuidadosamente recolhido, medido com auxílio de pipeta e conservado em geladeira até a quantificação. Na extração de GT usou-se citrato de sódio 50 mM, pH 8,0 e a autoclavagem foi realizada por 60 minutos, com diversos ciclos de autoclavagem e centrifugação até a remoção completa de toda proteína da amostra, ou seja até atingir a cor amarelo claro.

Para a quantificação de glomalina seguiu-se o método BRADFORD (1976) modificada por WRIGHT et al. (1996). Foi usada soro albumina bovina (BSA) para geração de uma curva padrão e depois feita a leitura em espectofotômetro. As concentrações de GT e GFE foram transformadas em mg $g^{-1}$ de solo, considerando o volume total de sobrenadante e peso de amostra de solo seco.

### 3.2.3 Análises estatísticas

As análises estatísticas da GT, GFE, Glomerosporos e substâncias húmicas foram realisadas através do teste de homogeneidade, análise de variância e posterior teste de Tukey a 5% de probabilidade.

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 Análise Química e Física do Solo

A textura do solo dos três estágios de sucessão da floresta seca, na camada de 0-10 cm é mais grossa, devido a maior presença de areia. A camada de 20-40 cm apresenta texturas mais finas que as demais camadas e tem como resultante maior fixação das estruturas de carbono. A influência do teor de C foi maior do que a da textura do solo porque a CTC (Figura 5) e o C.org (Figura 4) diminuíram com a profundidade, enquanto o conteúdo de argila aumentou (Figura 6).

Dos dados, pode ser deduzido que o C apresentou maior teor na camada superficial (0-10 cm) devido ao maior aporte de matéria orgânica, sendo o estágio sucessional tardio o que apresentou maior teor de carbono dos tratamentos estudados. As camadas mais inferiores (10-20 cm e 20-40 cm), conseqüente apresentaram uma diminuição gradativa da concentração de CTC e Corg.

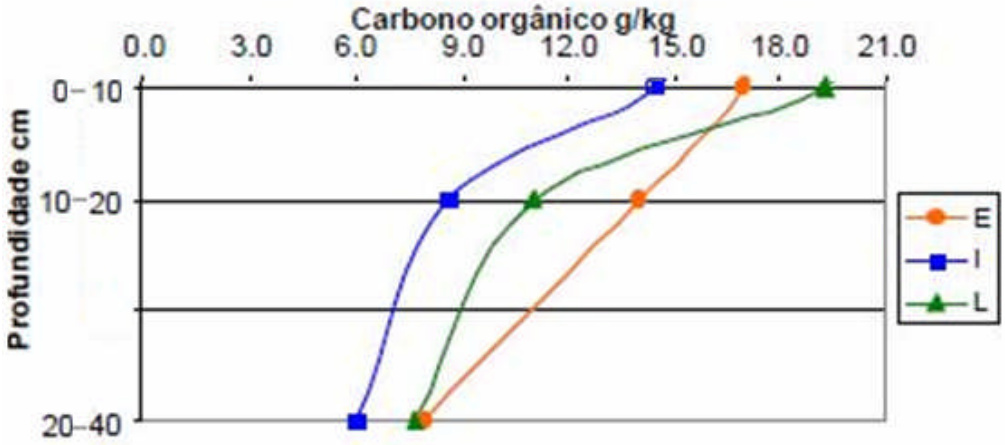


**Figura 4**. Teor de Corg nos três estágios da FTS, representado por uma média simples das três repetições. Estágio inicial em vermelho , estágio intermediário em azul e estágio tardio em verde.

A concentração de C passa de um teor médio (11,7 a 23,2 g/kg) em todos os tratamentos estudados na camada de 0-10 cm, para um teor baixo (4,1 a 11,6 g/kg) a partir da camada de 10-20 cm. No estágio inicial, à exceção dos demais estágios, a camada de 10-20 cm permanece com teor médio de C.

Os resultados indicam a predominância de solo com textura média na camada superficial (0-10cm) e com textura argilosa na camada de 20-40cm. A distribuição de C no perfil obedece à regra geral de diminuição de seus estoques com a profundidade. Além disso, o C relaciona-se com a CTC do solo, diminuindo com o predomínio da fração argila. Esta foi normalmente encontrada em baixos teores nos estágios sucessionais, inicial e tardio, na Floresta Tropical Seca, no Parque Estadual da Mata Seca (PEMS), Minas Gerais.

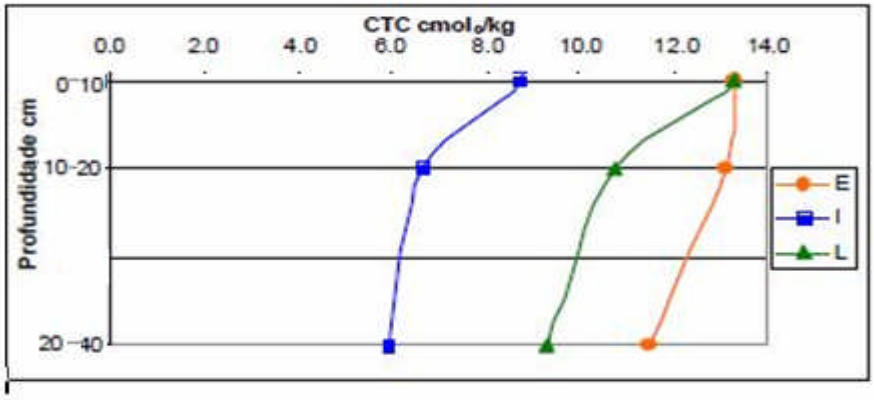


**Figura 5.** CTC nos três estádios de sucessão representado por uma média simples das repetições: estádio inicial em vermelho, intermediário em azul e tardio em verde.

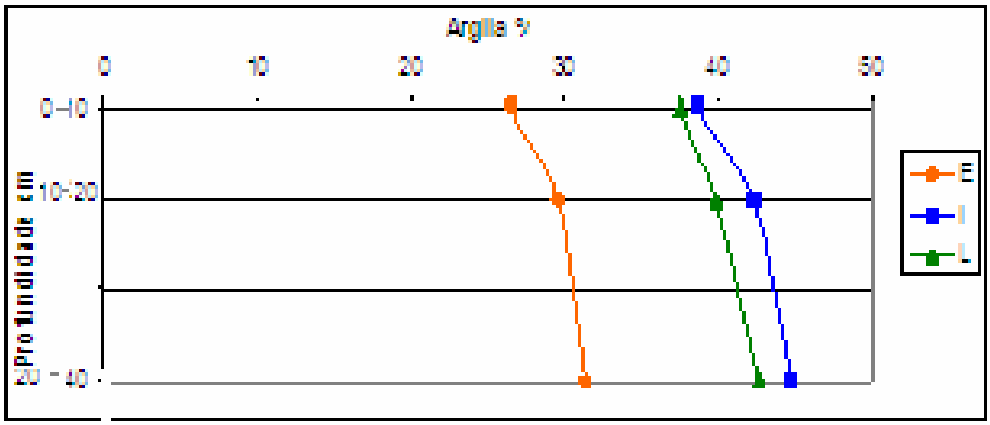


**Figura 6.** Teores de argila (%) nos três estádios de sucessão representado por uma média simples das repetições: estádio inicial em vermelho, intermediário em azul e tardio em verde.

Percebe-se que o carbono orgânico (C.org) foi maior na sucessão inicial e na floresta tardia do que na sucessão intermediária. Na floresta, o maior aporte de matéria orgânica e a maior atividade de organismos do solo explicam esse valor. No caso da sucessão intermediária, outros fatores devem ter influenciado também. Segundo SANTOS (2010), este solo apresentou o pH mais baixo de todos (5,06), estando relacionado ao maior teor de Al e H encontrados nessa área também, que pode inibir a atividade microbiana. A área de sucessão inicial apresentou o maior pH (7,03). O pH mais alto pode ter contribuído para menor solubilidade de Al, auxiliando no desenvolvimento da microbiota, que pode ter contribuído para os maiores valores de C.org nesta área em relação à área de sucessão intermediária.

Segundo o trabalho de SANTOS (2010), foram encontrados os maiores teores de fósforo (P) na área de pastagem. Talvez esta área já tenha sido utilizada para fins agrícolas, recebendo adubação, já que esta área apresentou também os maiores teores de potásio (K). Ou então a floresta original pode ter sido queimada, incorporando P ao solo. Uma outra hipótese seria esta área possuir naturalmente maior teor de P que as demais, sendo este o motivo da escolha do agricultor, dentro de seu conhecimento empírico, para desmatar e formar pastagem. Na área de floresta tardia foi encontrada a maior relação C/N, como esperado.

## 4.2 Substâncias Húmicas

Na Figura 7 observamos maiores quantidades de ácidos fúlvicos e húmicos no solo de sucessão intermediária, se comparado às outras áreas.

As quantidades de ácidos húmicos nesse solo foram maiores refletindo talvez a mineralização mais lenta da MO nessa área, favorecendo a formação de moléculas orgânicas mais polimerizadas como nas dos ácidos humicos.

Os maiores valores de ácidos húmicos e fúlvicos nesta área podem ser referentes à decomposição de grande diversidade de espécies vegetais encontrada por Berbara em seu trabalho, ainda não publicado, realizado nesta mesma área e sucessão do PEMS. Esta matéria orgânica pode conter substâncias mais variadas que originam estas frações.

O carbono está presente em maior quantidade principalmente na fração humina, que é a fração mais estável, e não diferiu estatisticamente entre as áreas.

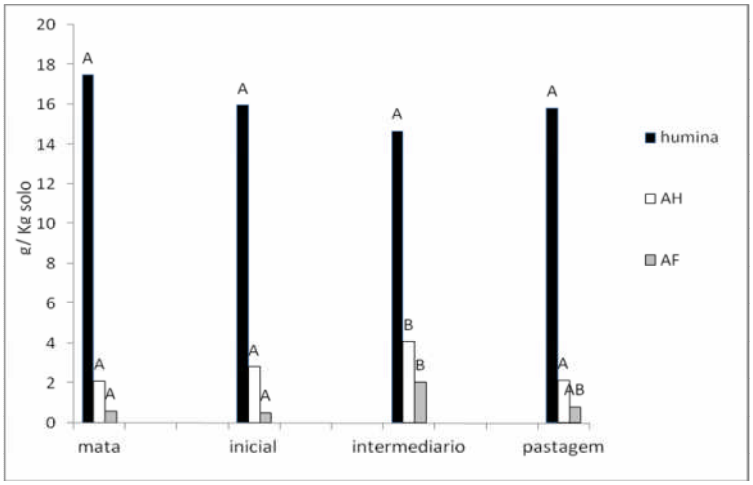


**Figura 7.** Quantidade de substâncias substâncias húmicas: humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, sob diferentes coberturas vegetais na profundidade de 0-10 cm.Valores são médias de três repetições. Valores seguidos pelas mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

## 4.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares

O solo da área de pastagem apresentou baixos teores de GT, em comparação com as amostras de solo das áreas de mata em estágio de sucessão inicial e mata em estágio de sucessão tardia, que tiveram os maiores índices (Figura 8).

O estágio de floresta tardia, onde há maior equilíbrio, também freqüentemente possui menos diversidade e densidade de esporos, como observado no trabalho de SANTOS (2010). Tendo em vista que a mata em estágio de sucessão inicial está ainda em fase de recuperação da vegetação para atingir o estágio final de mata natural em equilíbrio, a atividade dos FMA tende a ser máxima, a fim de contribuir para o desenvolvimento dessa vegetação a qual está em rápido crescimento e absorção de nutrientes.

A área de sucessão intermediária teve baixos índices de GT em comparação ao estágio inicial. Talvez as propriedades físicas e químicas diferentes desse solo podem ter influenciado. Além disso, já que existe baixo teor de C.org. também foi encontrada pouca quantidade de proteína do solo relacionada à glomalina.

A GFE, que é a glomalina depositada mais recentemente, foi igual estatisticamente em todos os tratamentos, mas foi discretamente crescente do pasto para mata, mostrando atividade recente dos FMAs em todos estágios (Figura 8).

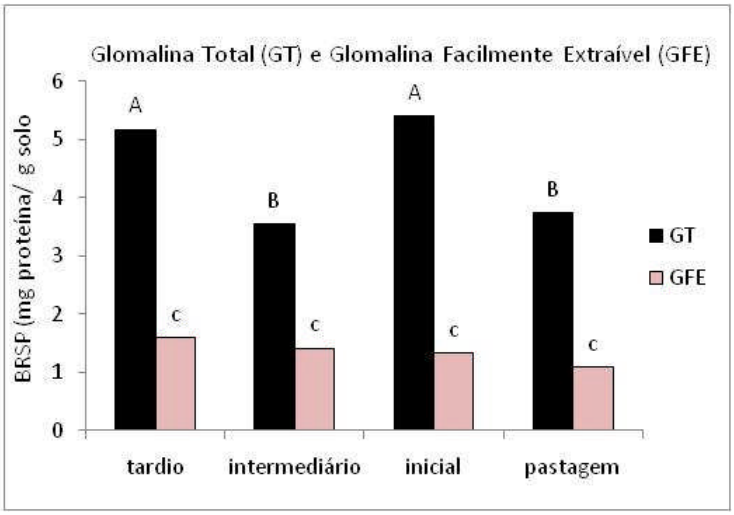


**Figura 8.** Teores de Glomalina Total (GT) e glomalina Facilmente Extraível (GFE) sob diferentes coberturas vegetais na profundidade de 0-10 cm.Valores são médias de nove repetições. Valores seguidos pelas mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

A densidade de glomerosporos (Figura 9) foi superior no solo do estágio sucessional inicial, já que este possui maior desestabilidade vegetal no sistema, com competição e sucessão rápidas ocorrendo.

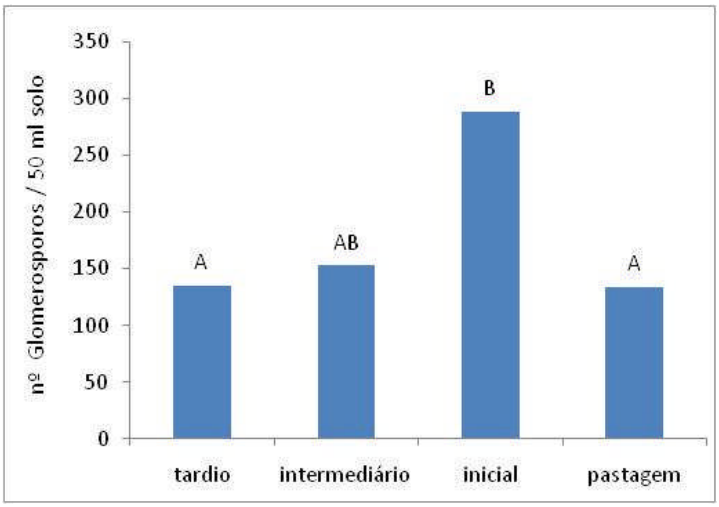


**Figura 9.** Densidade de glomerosporos sob diferentes coberturas vegetais na profundidade de 0-10 cm.Valores são médias de três repetições. Valores seguidos pelas mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Considerando que a GFE possa ser a fração da glomalina originada dos esporos e hifas, há indicação de que haja ligeiramente mais micélio na floresta, depositando pouco mais glomalina do que os esporos, os quais são em maior número no estágio inicial e intermediário.

É importante se desenvolver estudos que comparem as propriedades químicas e físicas do solo, a influência das substâncias húmicas e da diversidade de espécies vegetais na atividade dos FMAs em diferentes sucessões vegetais de floresta seca.

# 5 CONCLUSÕES

1. Os teores de glomalina total e de carbono orgânico foram maiores na área de sucessão inicial e tardia de floresta seca, indicando maior influência do estoque de carbono no solo sobre as concentrações de glomalina.
2. O maior número de esporos e glomalina total, na área de sucessão inicial, mostrou a maior atividade dos fungos micorrízicos arbusculares em área perturbada que está se regenerando, sugerindo a contribuição dos FMAs para essa recuperação do ecossistema de florestas secas.
3. As propriedades físicas e químicas diferentes do solo na área de sucessão intermediária podem ter contribuído para a baixa atividade de FMAs, menor concentração de glomalina e carbono, mais do que a cobertura vegetal presente.
4. Os maiores teores de ácidos húmicos e fúlvicos no solo de sucessão intermediária podem ser devidos à maior diversidade de espécies vegetais nesta área.

# 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AUBREVILLE, A. **Climats, forêts et desértification de l´afrique tropicale**. Paris: Société d´Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, 1949. 351p.

ALTIERI, M. **Agroecologia:** a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J.M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Scientia Horticulturae**, v.68, p.1-24, 1997.

BARBOSA, M.P., PEREIRA, D.D., ARAUJO, A.E. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca**. Campina Grande: UFCG, 2005. 20p. (Termo de Referência).

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUCK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no-tillage cropping systems on soil organic matter in a sand clay loam Acrisol from Southern Brasil monitorated by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 95-104, 2000.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2003. (Comunicado Técnico, 16).

BERBARA, R.L.L. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. 432p.

BERNOUX, M.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; ESCHENBRENNER V.; CERRI, C.E.P. Soil carbon sequestration. In: ROOSE, **E. J.**; **LAL**, **R**.; **FELLER**, **C**.; BARTHES, B.; STEWART, B. A. (eds.). **Soil erosion and carbon dynamics**. Boca Raton: CRC Press, 2006. p.13-22. (Advances in Soil Science).

BLUM, W.E.H.; WARKENTIN, B.P.; FROSSARD, E. Soil, human society and the environment. In: FROSSARD, E., BLUM, W.E.H.; WARKENTIN, B.P. (eds.). **Function of soils for human societies and the environment**. London: The Geological Society, 2006. p.1-8.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for mycorrhizal association with barley on sewage-amended plots. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p. 945-948, 1976.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and manegment: a review. **Geoderma**, v.164, p.3-22, 2005.

BULLOCK, S.H.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. Seasonally dry tropical forests. New York: Cambridge University Press, 1995. 450p.

CLAPP, J.P., YOUNG, J.P.W., MERRYWEATHER, J.W.; FITTER, A.H. Diversity of fungal symbionts in arbuscular mycorrhizas from a natural community. **New Phytologist**, v. 130, p.259–265, 1995.

Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga. **Cenários para o Bioma Caatinga**. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Recife, 2004.

DANIELS, B.A.; SKIPPER, H.D. Methods for the recovery and quantitative estimation from propagules from soil. In: SCHENK, N.C. (ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. New York: American Phytopathological Society, 1982. p.9-53.

DART, R.O.; BERBARA, R.L.L.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; FILHO, M.C.Q.B.; TATO, G.K. Propriedades dos solos em três sucessões de floresta tropical seca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., Rio de Janeiro, 2008.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special Publication, 35),

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ed. **Revista Atual**, Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FELLER, C.; MANLAY, J.; SWIFT, M. J.; BERNOUX, M. Functions, services and value of soil organic matter for human societies and the environment: a historical perspective. In: FROSSARD, E., BLUM, W.E.H.; WARKENTIN, B.P. (eds.). **Function of soils for human societies and the environment**. London: The Geological Society, 2006. p.9-22.

FERRARI, L.T.; CARNEIRO, J.J.; CARDOSO, I.M.; PONTES, L.M.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, A.L.M.S. O caso da água que sobe: monitoramento participativo das águas em sistemas agroecológicos. In: PETERSEN, P. (Org.). **Agricultura familiar camponesa na construção do futuro**. Rio de Janeiro: AS-PTA, p. 30-34, 2009.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spore of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of the British Mycological Society**, v.80, p.552-557, 1963.

GERHARDT, K. Effects of root competition and canopy openness on survival and growth of tree seedlings in a tropical seasonal dry forest. **Forest Ecology and Management**, v.82, p.33-48, 1996.

GRACE, J. Carbon cycle. **Encyclopedia of Biodiversity**, v.1, p. 69-629, 2001.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, v.92, n.2, p.189-202, 2004.

HOLDRIDGE, L.R. **Life zone ecology**. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967. 149p.

HOUGTHON, R.A. Forest and the global carbon cycle: current storage and emission. In: **Workshop emissão versos seqüestro uma nova oportunidade de negócio para o Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 1994. p.12-13.

ICRISAT. **Strategic plan to 2020: inclusive market-oriented development for smallholder farmers in the tropical drylands**. Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). 2010. 60 p.

IEF. **Parque Estadual da Mata Seca**. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: http://www.ief.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=204&Itemid=37. Acesso em: 20/02/2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Mapa de biomas do Brasil. Rio de janeiro, 2004. Escala 1:5000.000. Disponível em < www.ibge.org.br > Acesso em: 20 nov. 2009.

JACOBS, A.; RAUBER, R.; LUDWIG, B. Impact of reduced tillage on carbon and nitrogen storage of too Haplic Luvisols after 40 years. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.158-164, 2009.

JASTROW, J.D.; MILLER, R.M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F., STEWART, B.A. (eds.), **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.207-223.

KHURANA, E.; SINGH, J.S. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. **Environmental Conservation**, v. 28, p.39-52, 2001.

KOHLER, J.; CARAVACA, F.; ALGUACIL, M.M; ROLDÁN, A. Elevated $CO_2$ increases the effect of an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant-growth-promoting rhizobacterium on structural stability of a semiarid agricultural soil under drought conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p.1710-1716, 2009.

LIMA, W.L. **Fungos micorrízicos arbusculares: bioquímica e morfologia da interação dos ácidos húmicos e sua multiplicação por aeroponia**. 2004. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

LEMOS, J.J.S. **Desertification of dry lands in northeast of Brazil**. Riverside: University of California, 1995. 70p.

LOUREIRO, D.C. **Biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal**. 2008. 63f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

LUGO, M.A.; GONZÁLEZ MAZA, M.E.; CABELLO, M.N. Arbuscular mycorrhizal fungi in a mountain grassland II: seasonal variation of colonization studied, along with its relation to grazing and metabolic host type. **Mycologia,** v.95, p.407–415, 2003.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MCLAREN, K.P.; MCDONALD, M.A. Seedling dynamics after different intensities of human disturbance in a tropical dry limestone forest in Jamaica. **Journal of Tropical Ecology**, v.19, p. 567-578, 2003.

MELLO, F. A. F; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Fertilidade do solo**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 400p.

MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: BOWEN, G.D., NAMBIAR, E.K.S. **Nutrition of plantation forests**. London: Academic Press, 1984. p. 53-78.

MORALES, A., CASTILLO, C., RUBIO, R., GODOY, R., ROUANET, J.L.; BORIE, F. Niveles de glomalina en suelos de dos ecosistemas del sur de Chile. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v.5, n.1. p.37-45, 2005.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MUNYANZIZ, E., KEHRI, H.K.; BAGYARAJ, D.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. **Applied Soil Ecology**, v.6, p.77-85, 1997.

MURPHY, P.G.; LUGO, A.E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, 67-88, 1986.

MURPHY, P.G.; LUGO, A.E. Dry forests of Central America and Caribbean islands. In: BULLOCK, S.H.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E.(eds.). **Seasonally dry tropical forests**. New York: Cambridge University Press, p.9-34, 1995.

NASSAR, J.M.; RODRÍGUEZ, J.P.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, A.; GARVIN, T.; QUESADA, M. (eds.). **Manual of methods: Human, ecological and biophysical dimensions of tropical dry forests.** Caracas, Venezuela: IVIC, 2008. 136p.

NEVES, R.S.; MEDEIROS, J.C.A.; SILVEIRA, S.M.B.; MORAIS, C.M.M. Programa um milhão de cisternas: guardando água para semear vida e colher cidadania. **Agriculturas**, v.7, n.3, p.7-11, 2010.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native U.S. soils. **Soil Science**, v.170, n. 12, p.985-997, 2005.

OLIVEIRA, E.M.; SANTOS, M.J.; ARAÚJO, L.E.; SILVA, D.F. Desertificação e seus impactos na região semi-árida do Estado da Paraíba. **Ambiência**, v. 5, n. 1, p. 67-79, 2009.

PENNINGTON, R.T.; LEWIS, G.P.; RATTER, J.A. Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation. **Systematics Association Special Volume** n. 69, Taylor and Francis Group, Florida, 2006.

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 Soil**, v.233, p.167-177, 2001.

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

ROGERS, H.H.; BINGHAM, G.E., CURE, J.D.; SMITH, J.M.; SURANO, K.A. Responses of selected plant species to elevated carbon dioxide in the field. **Journal of Evironmental Quality**, v.12, n.4, 2009.

SAMPAIO, E. Overview of the Brazilian Caatinga. In: BULLOCK, S.H.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. **Seasonally dry tropical forests**. New York: Cambridge University Press, 1995. p.35-63.

SANCHEZ-AZOFEIFA, G.A., KALACSKA, M., QUESADA, M., CALVO-ALVARADO, J.C., NASSAR, J.M., RODRIGUEZ, J.P. Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. **Conservation Biology**, v.19, p.285-286, 2005.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A.O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênesis, p. 27-40, 1999, 491p.

SANTOS, V.L.S. **Fungos micorrízicos arbusculares e ecossistema de mata seca no norte de Minas Gerais**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia aplicada) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

SIDDIQUI, Z.A.; PICHTEL, J. Mycorrhizae: An overview. In: SIDDIQUI, Z. A.; AKHTAR, M. S.; FUTAI, K. (Eds.) **Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry**. Spinger Science, 2008, p. 1- 36.

SMITH, S.E.; READ, D.J. Mycorrhizas in managed environments: forest production, interaction with other microorganisms and pollutants. In: SMITH, S. E.; READ, D. J. (Eds.) **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997. p. 470-489.

SCHLESINGER, W.H. **Biogeochemistry: an analysis of global change**. San Diego: Academic Press, 1991. 588p.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A. de O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: **Fundamentos de química do solo.** 3ª ed./ MEURER, E.J. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285p.

SOBRINHO, V.G. **Análise bioeconômica do seqüestro florestal de carbono e da dívida ecológica: uma aplicação ao caso do Rio Grande do Sul**. 2007. 456 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

VALLE, T. **Nova metodologia de fracionamento e caracterização de huminas e suas interações com constituintes inorgânicos de solos**. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

WILSON, G.W.T; RICE, C.W.; RILLIG, M.C.; SPRINGER, A.; HARTNETT, D.C. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. **Ecology Letters**, v. 12, p. 452-461, 2009.

WIESINIESKI, J.A. **Estudo de mecanismos de retenção de espécies metálicas no sedimento das lagoas de decantação do aterro controlado do Botuquara**. 2009. 120f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, ponta Grossa, PR.

WITTIG, R., General aspects of biomonitoring heavy metals by plants In: MARKERT, B. (Ed.), **Plants as biomonitors. indicators for heavy metals in the terrestrial environment**. Wheinheim: VCH, 1993. p. 3-27.

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**, v.181, p.193-203, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein or arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v.9, n.161, p.575-586, 1996.

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

YOUNG, I.M; CRAWFORD, J.W. Interaction and self-organization on the soil microbe complex. **Science,** n. 304, p.1634-1637, 2004.

ZATORRE, N.P. **Influência da mudança do uso do solo em ecossistema na Amazônia sul ocidental**. 2009, 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.