



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**

**CONTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE MICROBIANA JUNTO À SERAPILHEIRA**  
**EM UM SOLO DEGRADADO DO BIOMA CAATINGA**

**FRANCISCO MOREIRA CARDOSO**

**FORTALEZA - CE**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**

**CONTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE MICROBIANA JUNTO À SERAPILHEIRA  
EM UM SOLO DEGRADADO DO BIOMA CAATINGA**

**FRANCISCO MOREIRA CARDOSO**

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Vânia Felipe Freire Gomes

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**FORTALEZA - CE**

**2010**

C262c Cardoso, Francisco Moreira  
Contribuição da atividade microbiana junto à serapilheira em um solo degradado do bioma caatinga / Francisco Moreira Cardoso. – 2010.  
82 f. : il. color. enc.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vânia Felipe Freire Gomes  
Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. Depto. de Ciências do Solo, Fortaleza, 2011.

1. Solos – Degradação 2. Fungos micorrízicos 3. Serapilheira I. Gomes, Vânia Felipe Freire (orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Agronomia III. Título

CDD 631.4

**FRANCISCO MOREIRA CARDOSO**

**CONTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE MICROBIANA JUNTO À SERAPILHEIRA  
EM UM SOLO DEGRADADO DO BIOMA CAATINGA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Dissertação aprovada em: 04/03/2011

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Vânia Felipe Freire Gomes  
Departamento de Ciências do Solo/CCA/UFC  
(Orientadora)

---

Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho  
Departamento de Ciências do Solo/CCA/UFC  
(Examinador)

---

Prof<sup>a</sup> Dra. Eunice Maia de Andrade  
Departamento de Engenharia Agrícola/CCA/UFC  
(Examinadora)

---

Prof. Dr. Benedito de Brito Cardoso  
Departamento de Ciências do Solo/CCA/UFC  
(Examinador)

*Dedico este trabalho*

*A meus pais, pelo exemplo de coragem, simplicidade e persistência.*

*As minhas irmãs, por sempre acreditarem em mim.*

*A minha namorada, pelo carinho e amizade.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em minha vida me iluminando em todos os momentos.

À Universidade Federal do Ceará, através do Departamento de Ciências do Solo por torna possível a realização do curso.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Projeto “Modelo de exploração do capital natural de forma sustentável no semiárido cearense” financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio ao trabalho de dissertação.

À Professora Vânia Felipe Freire Gomes pela amizade, conselhos, incentivo e valiosa orientação.

Ao Professor Paulo Mendes Filho, pela amizade e colaboração na realização deste trabalho.

À Professora Eunice Maia de Andrade, pela amizade e colaboração na realização deste trabalho.

Ao Professor Benedito de Brito Cardoso pela amizade e por fazer parte da banca examinadora contribuindo com este trabalho.

Ao Professor Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra pela amizade e contribuição estatística para este trabalho.

Aos Professores do Departamento de Ciências do Solo, pelos conhecimentos transmitidos.

À Doutoranda Eveline Viana Salgado, pelo agradável convívio e amizade.

Ao Sr. Elias Andrade e família pela amizade, apoio e disponibilização da área para a realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia do Solo e aos do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFC, pela amizade.

Aos servidores técnicos administrativos do Departamento de Ciências do Solo e FUCEME, em especial aos amigos Aldo Cirino, Valderez, Edilson, Franzé, Penha, Marilena e Antônio José pela amizade. E finalmente, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram com seu apoio indispensável para a realização desta dissertação.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Características do bioma Caatinga.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Áreas de preservação do bioma Caatinga.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Degradação do solo.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4</b>	<b>Reabilitação de áreas degradadas.....</b>	<b>6</b>
2.4.1	Estratégias em longo prazo.....	6
2.4.2	Estratégias em médio prazo.....	6
2.4.3	Estratégias em curto prazo.....	7
<b>2.5</b>	<b>Ciclagem de nutrientes.....</b>	<b>8</b>
<b>2.6</b>	<b>Indicadores biológicos da qualidade do solo.....</b>	<b>9</b>
2.6.1	Respiração Basal do Solo (RBS).....	10
2.6.2	Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	11
<b>2.7</b>	<b>Parâmetro biológico do solo.....</b>	<b>12</b>
2.7.1	Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	12
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Local experimento.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Delineamento experimental.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>Coleta das amostras do solo.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Parâmetros avaliados.....</b>	<b>17</b>
3.4.1	Análises microbiológicas do solo.....	18
	Respiração Basal do Solo (RBS).....	18
	Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	18
	Coeficiente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ).....	19
	Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	19
3.4.2	Análises químicas do solo.....	19
<b>3.5</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Parâmetros microbiológicos.....</b>	<b>21</b>
4.1.1	Respiração Basal do Solo (RBS).....	21
4.1.2	Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	25

4.1.3	Quociente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ).....	28
4.1.4	Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	30
<b>4.2</b>	<b>Parâmetros químicos do solo.....</b>	<b>34</b>
4.2.1	Nitrogênio (N).....	34
4.2.2	Fósforo (P).....	37
4.2.3	Potássio (K).....	40
4.2.4	Cálcio (Ca).....	43
4.2.5	Magnésio (Mg).....	46
4.2.6	pH.....	48
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Croqui do experimento em área de solo degradada na zona rural do Município de General Sampaio – CE, 2009.....	16
Figura 2	Manta protetora de fibra de coco para manter a serapilheira nos tratamentos na área experimental no Município de General Sampaio – CE, 2008.....	16
Figura 3	Aspecto geral da vegetação da mata nativa da Caatinga cearense no período seco e no chuvoso.....	17
Figura 4	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre a Respiração Basal do Solo (RBS) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	21
Figura 5	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre a Respiração Basal do Solo (RBS) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	23
Figura 6	Pluviosidade média mensal do ano 2009 e início de 2010 do Município de General Sampaio, CE (Fonte: FUNCEME, 2010).....	24
Figura 7	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	25
Figura 8	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	27
Figura 9	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.	28
Figura 10	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.	29
Figura 11	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre a densidade de esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.	31
Figura 12	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre a densidade de esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE.	33

Figura 13	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Nitrogênio (N) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	35
Figura 14	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Fósforo (P) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	38
Figura 15	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Potássio (K) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	41
Figura 16	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Potássio (K) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	42
Figura 17	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o pH do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	48
Figura 18	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o pH do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tratamentos implantados no experimento em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	14
Tabela 2	Análise química do solo antes da instalação do experimento nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm da área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	15
Tabela 3	Níveis de fertilidade para interpretação dos resultados da análise de solo utilizados pelos laboratórios do Estado do Ceará, Fortaleza, 1993.....	15
Tabela 4	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Nitrogênio (N) ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	36
Tabela 5	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Fósforo (P) ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	40
Tabela 6	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor do Cálcio (Ca) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) do solo de área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	43
Tabela 7	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor do Cálcio (Ca) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	45
Tabela 8	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Magnésio (Mg) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	46
Tabela 9	Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Magnésio (Mg) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.....	47

## RESUMO

### **Contribuição da atividade microbiana junto à serapilheira em um solo degradado do bioma Caatinga**

Os ecossistemas do bioma Caatinga encontram-se atualmente em acentuado processo de degradação, com a substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens. A serapilheira compreende o material precipitado ao solo pela vegetação nativa, tendo como característica a proteção do solo, reduzindo a temperatura, aumentando o processo de percolação, reduzindo o impacto da gota da chuva e minimizando as perdas causadas pela erosão, além da decomposição da serapilheira ser o principal processo de ciclagem de nutrientes dos ecossistemas. Objetivou-se com esse trabalho avaliar através dos atributos microbiológicos e químicos do solo, as alterações ocorridas em área degradada da Caatinga cearense que recebeu aporte de serapilheira. Esta pesquisa foi desenvolvida com a hipótese de que a serapilheira produzida pela Caatinga é uma fonte em potencial para a reabilitação de solo degradado. O experimento foi instalado em uma área degradada na zona rural do Município de General Sampaio, Ceará, de propriedade do Sr. Elias Andrade, sendo conduzido por um ano e recebeu inicialmente o aporte de serapilheira oriunda da Área de Preservação Ambiental (APA) - Elias Andrade. A APA serviu como área de empréstimo, de onde foi retirada toda a serapilheira de uma área de 5 m x 5 m, em quatro pontos distintos, cuja média da massa total da serapilheira foi de 84 kg, a qual foi tomada como referencial quantitativo o tratamento 100%, considerado para efeito de aporte na área degradada, os outros tratamentos foram baseados nesse valor. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com arranjo experimental em parcelas subdivididas (EPSSD), foram utilizados 6 níveis de serapilheira (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%), 2 profundidades (0-5 e 5-20 cm) e 3 épocas (fevereiro/2009, setembro/2009 e fevereiro/2010) de coletas, envolvendo o período chuvoso e seco. Os parâmetros microbiológicos avaliados foram: Respiração Basal do Solo (RBS), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ) e Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA). Os parâmetros químicos avaliados foram: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e pH. A RBS apresentou maior concentração relacionada ao período chuvoso, mostrou que durante o período seco do ano a atividade

microbiana é reduzida, e conseqüentemente a nutrição da vegetação via aporte de serapilheira é comprometida para a reabilitação de áreas degradadas. Os maiores níveis de serapilheira contribuíram positivamente para: a elevação do CBM, diminuição do  $qCO_2$  e aumento de esporos de FMA. O aporte da serapilheira contribuiu para a introdução de sementes e conseqüentemente para o estabelecimento de plantas nativas, modificando parcialmente os atributos microbiológicos do solo, mas não os atributos químicos, sendo necessário avaliá-los a médio e longo prazo.

**Palavras-chave:** Microbiota do solo, degradação, fungos micorrízicos arbusculares, mineralização.

## ABSTRACT

### **Contribution of microbial activity near the litter in a degraded soil biome Caatinga**

The ecosystems of the Caatinga forest are currently on severe process of degradation, with the replacement of native plant species for crops and pastures. The plant litter includes the organic material laid on the soil coming from the native vegetation, which protects the soil by: reducing the temperature, increasing the percolation process, reducing the impact of rain drop and minimizing the losses caused by erosion; the litter decomposition is the main process through which the nutrient can cycle in the ecosystems. The objective of this study was to evaluate, through the microbial and soil chemical changes, occurrence of soil degradation in areas of the Caatinga forest of Ceará where there was litter production. This research was conducted with the hypothesis that the litter produced by Caatinga forest is a potential source for the rehabilitation of degraded soil. The experiment was conducted in a degraded area in the General Sampaio county area, Ceará State, owned by Mr. Elias Andrade; the one year study received an initial contribution of litter which came from the Environmental Preservation Area (APA) - Elias Andrade. The APA was the area from where the entire litter was collected and corresponded to a 5 m x 5 m area and included four distinct sites, whose average of the litter total mass was 84 kg, which was taken as a quantitative reference treatment (100%), considered as the contribution from the degraded area. The other treatments were based on that value. The experimental design was randomized blocks (DBC) with the experimental arrangement in a split plot design (EPSSD), with 6 levels of litter (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%), two depths (0 -5 and 5-20 cm) and three seasons (february/2009, and september/2009 february/2010). The data collections involved both wet and dry season. Microbiological parameters were: Soil Basal Respiration (SBR), Microbial Biomass Carbon (MBC), Metabolic Quotient ( $qCO_2$ ) and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF). The chemical parameters were: nitrogen (N), phosphorus (P), Potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) contents and pH. The RBS had a higher concentration related to the rainy season, showing that during the dry season the microbial activity is reduced, and, consequently, the nutrition of the vegetation, via litter production, is compromised for the rehabilitation of the degraded areas. The highest levels of litter has positively contributed to: the elevation of the CBM, decrease of the  $qCO_2$  and increase of

the spores AMF. The deposition of the litter contributed to the introduction of seeds and consequently for the establishment of native plants; however, the litter only partially modified the soil microbiological attributes but not the chemical attributes, which will need both a medium and a long term evaluations.

**Keywords:** Soil microbes, degradation, arbuscular mycorrhizal fungi, mineralization.

## 1 INTRODUÇÃO

A Caatinga, ecorregião semiárida única no mundo, exclusivamente brasileira, cobre porção significativa do território nacional e é provavelmente o bioma brasileiro mais ameaçado e transformado pela ação humana (CASTELETTI et al., 2003).

Esse bioma é considerado o principal ecossistema existente na Região Nordeste, estendendo-se pelo domínio de climas semiáridos, numa área de 736.836,49 km<sup>2</sup>, correspondendo a 6,83% do território nacional, ocupa parte dos Estados da BA, CE, PI, PE, RN, PB, SE, AL, MA e MG (IBAMA, 2008). No Ceará, a área natural ocupada é de 126.926 km<sup>2</sup>, o que corresponde a quase 85% do território estadual (MAIA, 2004).

Os ecossistemas do bioma Caatinga encontram-se atualmente em acentuado processo de degradação, com a substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens. O desmatamento e as queimadas são ainda práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária que, além de destruir a cobertura vegetal, prejudica a manutenção de populações da fauna silvestre, a qualidade da água, e o equilíbrio do clima e do solo. Aproximadamente 80% desses ecossistemas originais já foram antropizados (DRUMOND et al., 2000; IBAMA, 2008).

Mendes Filho (2004) relata que a degradação do solo em diversas áreas do planeta é um problema dos tempos modernos, que deve ser enfrentado prioritariamente. Destaca-se que o mesmo produz impactos econômicos e ecológicos, tendo várias causas, podendo ocorrer em escala local, regional, nacional e global, determinando a perda da biodiversidade do planeta, diminuição da fertilidade do solo e interferência nos recursos hídricos, além da brusca alteração da paisagem.

Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2009), o estado do Ceará apresenta três áreas com sinais evidentes de degradação ambiental, sendo-as: 1) Inhamuns/Sertões de Crateús, 2) Municípios de Irauçuba e regiões circunvizinhas, e 3) Médio Jaguaribe. Essas áreas equivalem em torno de 15.130 km<sup>2</sup>, corresponde a 10,2% da superfície do Estado do Ceará as quais estão associadas a processo de degradação susceptível à desertificação. Controlar o avanço deste processo torna-se uma questão de sobrevivência, principalmente para a população rural afetada diretamente pelo problema, uma vez que a degradação do solo torna a terra improdutiva.

A degradação acelerada que os ecossistemas vêm sofrendo gera a necessidade de se desenvolver programas de conservação e reabilitação ambiental. Para tanto, deve ser bem conhecida a dinâmica das interações solo-vegetação nesses ecossistemas (BORÉM & RAMOS, 2002).

A serapilheira é um importante componente desses ecossistemas. Compreende o material precipitado ao solo pela vegetação nativa, tendo como característica a proteção do solo, reduzindo a temperatura, aumentando o processo de percolação, reduzindo o impacto da gota da chuva e minimizando as perdas causadas pela erosão. Ela forma uma camada superficial rica em matéria orgânica e de uma variada micro, meso e macrofauna que atuam no processo de decomposição desse material (COSTA et al., 2007), também, produz sombra e retém umidade, criando condições microclimáticas que influem na germinação de sementes e estabelecimento de plântulas, além disso, a decomposição dos resíduos orgânicos que formam a serapilheira, é o principal processo de ciclagem de nutrientes dos ecossistemas (MONTANGNINI & JORDAN, 2002), constituindo a principal fonte de nutrientes para a manutenção da vegetação (SOUTO, 2006).

No entanto, é de fundamental importância o conhecimento da atividade microbiana junto à serapilheira para estabelecer planos e programas de conservação para a sustentabilidade dos ecossistemas.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações ocorridas em área degradada da Caatinga cearense que recebeu aporte de serapilheira, por meio dos atributos microbiológicos e químicos do solo, tendo como hipótese que a serapilheira produzida pela Caatinga é uma fonte em potencial para a contribuição na reabilitação de solo degradado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Características do bioma Caatinga

O bioma estende-se pelo domínio de clima semiárido e apresenta como característica marcante a irregularidade do regime pluviométrico, com duas estações definidas: a estação chuvosa (inverno) que dura de três a cinco meses e a estação seca (verão) que dura de sete a nove meses. As chuvas se caracterizam por uma alta intensidade e irregulares no tempo e no espaço, resultando na ocorrência de secas prolongadas e periódicas. Apesar de apresentar uma pluviosidade não muito baixa (em torno de 700 mm anuais), o balanço hídrico é deficitário, principalmente em virtude da disponibilidade de energia a ser empregada na evaporação potencial. Nessa região, a evaporação potencial pode ser até quatro vezes superiores a precipitação (MAIA, 2004).

A vegetação típica é a Caatinga, bioma único no mundo, caracterizado pela formação de floresta seca composta de vegetação xerófila de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo, com ampla variação de fisionomia e flora e elevada diversidade de espécies, predominando representantes das famílias botânicas Caesalpiniaceae, Mimosaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Cactaceae. A Caatinga encontra-se hoje em acentuado processo de degradação, ocasionado, principalmente, pelo desmatamento e uso inadequado dos recursos naturais (DRUMOND et al., 2000).

A Caatinga constitui-se na expressão sintética dos elementos físicos e climáticos, uma vegetação singular cujos elementos florísticos expressam uma morfologia, anatomia e mecanismo fisiológico conveniente para resistir ao ambiente xérico. Traduzindo o xerofilismo, expressa uma condição de sobrevivência ligada a um ambiente seco, ecologicamente com deficiência hídrica, cuja água disponível às plantas procede unicamente do curto período da estação chuvosa, já que seus solos apresentam baixa capacidade de armazenar água.

Em virtude das condições climáticas, a vegetação endêmica é ramificada, com um aspecto arbustivo, tendo folhas pequenas ou modificadas em espinhos, de modo a evitar a evapotranspiração (perda de água pela epiderme), ocorrendo a perda de folhas na época seca (caducifolia). É uma mistura de estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo de pequeno porte, tortuosa, espinhenta e muito resistente às secas. A vegetação é distribuída de forma irregular, contrastando áreas que se assemelham a florestas, com áreas com solo quase descoberto. Apresenta uma grande biodiversidade com espécies de portes e arranjos

fitossociológicos variados que o torna bastante complexo, onde pouco se conhece sobre a sua dinâmica (MAIA, 2004).

Na Caatinga também se encontra algumas espécies arbóreas e arbustivas de folhas perenes. As plantas suculentas aparecem em grande número e as espécies herbáceas anuais desaparecem no período seco. A vegetação é escassa em gramíneas, porém, abundante em leguminosas. Muitas espécies são forrageiras, outras são frutíferas e algumas são de importância industrial, principalmente como fornecedora de matérias-primas industriais, como cera, borracha, tanino, resinas, cosméticos, fármacos, fibras e outros produtos (MAIA, 2004).

## **2.2 Áreas de preservação do bioma Caatinga**

A elevada velocidade com que as matas remanescentes da Caatinga estão sendo exploradas, sem nenhum plano de manejo, está pondo em risco a existência de várias espécies arbóreas de valor econômico e ecológico. Estas explorações sejam para retirada de madeira para lenha, carvão, moirões e serrarias, sejam para a ampliação de áreas de cultivo (brocas), provocam sérios danos ambientais, desencadeadores muitas vezes de processos irreversíveis de degradação e o empobrecimento desta vegetação, ainda pouco estudada e cujo potencial genético pouco se conhece.

Uma das formas encontradas para preservar a vegetação de caatinga são as unidades de conservação ambiental (SOUTO, 2006). No estado do Ceará as unidades de conservação perfazem 58 unidades, sendo distribuídas em: 27 áreas de proteção ambiental (APA), 9 parques ecológicos, 1 floresta nacional, 3 estações ecológicas, 1 jardim botânico, 1 corredor ecológico, 4 reservas ecológicas particulares, 10 reservas particulares do patrimônio natural, 2 monumentos naturais e 1 reserva extrativista (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2009).

Portanto, a criação de áreas de preservação na região semiárida é de fundamental importância para o estudo mais aprofundado da Caatinga, cujo conhecimento irá permitir a adoção de práticas corretas de recuperação de áreas em processo de degradação.

### 2.3 Degradação do solo

A degradação do solo de acordo com o Manual de Diretrizes para Recuperação de Áreas Degradadas (IBAMA, 1990 e citado por MENDES FILHO, 2004), ocorre “... quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização socioeconômica da área”. A degradação do solo pode também ser definida como uma perda ou redução da energia do sistema. Uma vez que todas as funções e usos de um solo estão baseados em fluxo de energia, um solo degradado tem suas funções ou usos perdidos ou diminuídos, tornando possível, assim, a distinção entre uma degradação natural daquela causada por atividades antrópicas, via de regra, mais impactante (BLUM, 1998).

Sombroek e Sene (2006) definem degradação do solo como um processo que reduz a capacidade atual ou potencial do solo para produzir bens ou serviços. O solo é considerado degradado se os processos naturais e antropogênicos atuantes diminuam a quantidade e qualidade da produção de biomassa, encarecendo os custos com a reabilitação. A degradação das condições do solo é um processo significativo, por dificilmente ser reversível, visto que os processos de formação além de regeneração ocorrem de forma predominantemente lenta.

No Nordeste semiárido, várias formas de uso do solo podem resultar no processo de degradação. O extrativismo vegetal e mineral, bem como o sobre pastoreio das pastagens nativas ou cultivadas, e o uso agrícola por culturas que expõem os solos aos agentes erosivos são as principais causas dos processos de degradação que atingem a região.

Quando se perde a cobertura arbustiva (por corte, queima ou pastoreio), a exposição do solo desnudo promove a formação de uma crosta superficial decorrente do impacto direto das gotas de chuva, o que reduz a infiltração da água e aumenta o escoamento. Isto diminui as possibilidades de estabelecimento da cobertura vegetal. Os solos descobertos são muito susceptíveis à erosão hídrica e eólica, causando uma remoção líquida de nutrientes das áreas em processo de degradação (GUTIÉRREZ & SQUEO, 2004).

Atualmente, muitas pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de conhecer as principais causas, os causadores e as principais consequências da degradação do

ambiente, assim como pesquisas voltadas à busca de alternativas para a resolução dos problemas trazidos pela degradação (WAQUIL et al., 2004).

## **2.4 Reabilitação de áreas degradadas**

Independentemente da etapa de degradação em que se encontra o ambiente, seja em sua fase inicial (degradação agrícola) ou final (degradação biológica), faz-se necessária à adoção de técnicas de reabilitação.

As estratégias para reabilitação dessas áreas podem ser a longo, médio ou curto prazo e ainda depende do sistema de exploração da área (pastagem, lavouras, florestas cultivadas ou sistemas agroflorestais) (WADT, 2003).

### **2.4.1 Estratégias em longo prazo**

Consiste no abandono da área para que haja a reabilitação natural da vegetação. O abandono da área de pousio conduz ao desenvolvimento de arbustos e árvores que, com o passar dos anos, podem formar uma vegetação com características de floresta secundária, em que muitas das funções da floresta primária são parcialmente restabelecidas.

Existem vários fatores que podem comprometer ou dificultar a formação da vegetação secundária, como baixo estoque de sementes de plantas nativas, efeito alelopático da vegetação cultivada (principalmente gramíneas de pastagem), alto nível de compactação do solo, baixa fertilidade do solo ou efeitos residuais de agrotóxicos (WADT, 2003).

### **2.4.2 Estratégias em médio prazo**

Para os ecossistemas de pastagens, as estratégias de reabilitação de áreas degradadas em médio prazo consistem na integração lavoura-pecuária e na introdução de sistemas silvipastoris. Para os demais ecossistemas agrícolas, a principal estratégia é a introdução de sistemas agroflorestais. Essas estratégias permitem a reabilitação em um menor tempo e o aproveitamento econômico da área é quase imediato.

A introdução de árvores em pastagens tem como objetivo a melhoria na ciclagem de nutrientes, causada pela absorção desses elementos pelas raízes das árvores nas

camadas mais profundas do solo, e a posterior deposição na camada superficial, por meio da decomposição das folhas, raízes e galhos. Se a espécie arbórea for capaz de promover associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares (FMA), haverá também maior aporte desse nutriente no sistema (WADT, 2003).

Na reabilitação de áreas degradadas, há uma grande variabilidade de combinações de sistemas agroflorestais, como o cultivo em faixas e sistemas multiestratos, o que torna extenso abordar cada um deles isoladamente. Entretanto, em geral os principais benefícios dos sistemas agroflorestais são (OLIVEIRA et al., 2002):

- a) Desenvolvimento de uma camada densa de raízes com micorrizas, similar à floresta natural em sua função de diminuir a lixiviação de nutrientes e aumentar a absorção de fósforo disponível;
- b) Produção de abundante folhagem, que contribui para aumentar a qualidade de húmus no solo ao final da decomposição;
- c) Fonte adicional de nitrogênio, por meio de espécies fixadoras desse elemento;
- d) Absorção de nutrientes das camadas mais profundas do solo, levando-os às camadas superficiais, tanto aqueles lixiviados quanto os liberados pela decomposição da rocha matriz.

### **2.4.3 Estratégias em curto prazo**

As estratégias em curto prazo consistem na adoção de tecnologias visando à pronta reabilitação da área.

Normalmente, nas áreas agrícolas, envolve-se o uso de corretivos da acidez para eliminar os efeitos tóxicos do alumínio e fornecer cálcio e magnésio às plantas, utilizando-se de leguminosas como fonte de nitrogênio e matéria orgânica, além da adubação mineral para a recomposição dos teores de fósforo e potássio do solo, além de outros nutrientes.

O uso de fontes orgânicas desencadeia no solo diversas reações benéficas, como o aumento da atividade microbiana, maior retenção de cátions e ânions, melhoria da estrutura e capacidade de retenção de água, o que ajuda na rápida reabilitação das áreas degradadas.

Se houver problemas físicos associados à baixa fertilidade, como formação de pé de arado ou compactação do solo, será necessário o uso de subsoladores ou aração. A

reabilitação do solo, nesse caso, deverá estar associada com práticas conservacionistas (construção de terraços e plantio direto), para que seus benefícios sejam mais duradouros (WADT, 2003).

## **2.5 Ciclagem de nutrientes**

A degradação acelerada que os ecossistemas vêm sofrendo, principalmente em decorrência da atividade antrópica, gera a necessidade de se desenvolver programas de conservação e reabilitação ambiental. Para tanto, deve ser bem conhecida a dinâmica das interações solo-vegetação nesses ecossistemas (BORÉM & RAMOS, 2002).

A manutenção dos ecossistemas florestais depende da ciclagem de nutrientes via produção e decomposição da serapilheira, sendo este o mais importante processo de transferência de nutrientes proveniente do material vegetal, como folhas, flores, frutos, sementes, caules e cascas de frutos em diferentes estádios de decomposição, bem como de resíduos animais, que forma uma camada ou cobertura sobre o solo de uma floresta. Esta camada é a principal fonte para o processo de ciclagem de nutrientes dos ecossistemas, além de outras características importantes como a proteção do solo, diminuindo as perdas causadas por erosão, lixiviação e o impacto causado pela precipitação pluviométrica (COSTA, 2007).

Das variáveis climáticas, a precipitação pluviométrica e a temperatura são as que exercem maior influência na formação da serapilheira. Assim, pode-se concluir que o tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores determinantes da quantidade e qualidade do material que cai no solo, determinando a heterogeneidade e a taxa de decomposição do material depositado na superfície do solo (CORREIA & ANDRADE, 1999; MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

O processo de ciclagem é de grande importância não só para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, mas também na busca de informações para o estabelecimento de práticas de manejo florestal para reabilitação de áreas degradadas e manutenção da produtividade do sítio degradado em reabilitação. No entanto, de maior relevância do que a simples acumulação quantitativa é o processo de mineralização do material orgânico, responsável pela liberação de nutrientes para o solo (SOUZA & DAVIDE, 2001).

## 2.6 Indicadores biológicos da qualidade do solo

Dentre os vários indicadores da qualidade do solo, os de caráter biológico têm sido cada vez mais avaliados como os mais sensíveis, dado o relacionamento entre atividade e diversidade microbiana, qualidade do solo e da vegetação e a sustentabilidade do ecossistema (STENBERG, 1999).

Segundo Chaer et al. (2002), várias são as justificativas para o uso de microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo, destacando-se a sua capacidade de responder rapidamente as mudanças no ambiente do solo derivadas do manejo. Além do fato de que a atividade microbiana reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes.

No entanto, o solo é considerado um ambiente altamente dinâmico e responsável por uma série de processos essenciais que garantem a funcionalidade de um ecossistema. Entre estes processos cita-se o crescimento das raízes, o armazenamento e o suprimento de água e nutrientes, além do condicionamento para promover trocas gasosas e a atividade biológica (TÓTOLA & CHAER, 2002).

As transformações microbianas, assim como as diferentes reações químicas do solo, podem ser alteradas de acordo com o tipo de manejo adotado. A biomassa microbiana constitui-se num mecanismo de transformação para todos os materiais orgânicos do solo e atua como reservatório de nutrientes vegetais. O reconhecimento da importância dos microrganismos do solo tem levado a um aumento no interesse em se quantificar os nutrientes contidos em suas biomassas, cuja estimativa fornece dados úteis sobre mudanças nas propriedades biológicas do solo decorrentes do seu uso (THEODORO et al., 2003).

A comunidade microbiana do solo é influenciada pela temperatura, umidade e aeração do solo, disponibilidade de nutrientes e substratos orgânicos (VARGAS et al., 2004), sendo importante a sua determinação para avaliação do tamanho do reservatório mais ativo e dinâmico da matéria orgânica do solo, o qual é constituído basicamente por fungos, bactérias e actinomicetos (OLIVEIRA et al., 2001).

Atualmente, tem-se estudado com ênfase a atividade biológica e sua contribuição nas transformações do carbono no solo, parâmetros como a respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana, quociente microbiana, entre outros tem se mostrado eficientes às mudanças ocorridas nos ecossistemas.

### 2.6.1 Respiração Basal do Solo (RBS)

A respiração microbiana é definida como a absorção de O<sub>2</sub> ou liberação de CO<sub>2</sub> pelas bactérias, fungos, algas e protozoários no solo, incluindo as trocas gasosas que resultam de ambos os metabolismos aeróbios e anaeróbios. A vantagem de se medir o CO<sub>2</sub> ao invés de O<sub>2</sub> está no fato do CO<sub>2</sub> refletir a atividade tanto de microrganismos aeróbios quanto de anaeróbios (GAMA-RODRIGUES & DE-POLLI, 2000). Allen e Schlesinger (2004) citam que a respiração microbiana representa o mecanismo primário de degradação do carbono imobilizado pelas plantas e estima o potencial de sequestro de C na biosfera terrestre.

Mendes Filho (2004) relata que a respiração basal é considerada um dos melhores parâmetros para medir a atividade dos microrganismos do solo. Para Savin et al. (2001) é um método comum e simples de avaliar a atividade biológica no solo. Vanhala (2002) relata que esse é um método extensamente usado em estudos do solo, permitindo estimar a atividade microbiana total, sendo de fácil execução e custos baixos. A taxa de respiração edáfica medida no campo reflete a emissão real do CO<sub>2</sub> no solo florestal e tais informações podem ser usadas, por exemplo, para calcular o estoque de carbono do ecossistema.

Kieft e Rosacker (1991), bem como Moreira e Siqueira (2006) salientam que a respiração microbiana é o indicador mais antigo utilizado para quantificar a atividade dos microrganismos no solo, que é altamente influenciada por vários fatores do solo.

Experimentos denominados respirométricos, baseados na liberação de CO<sub>2</sub> em função do tempo têm sido utilizados para avaliar a transformação do carbono orgânico do solo pela atividade microbiana. Este estudo é de grande importância porque a microbiota do solo é a sua porção viva responsável pela ciclagem dos nutrientes, além de sofrer diretamente com os impactos causados pelas atividades antrópicas (FIRME, 2005).

Uma alta taxa de respiração, indicativa de alta atividade biológica, pode ser uma característica desejável, se considerada como um sinal de rápida decomposição de resíduos orgânicos para a liberação de nutrientes disponíveis para as plantas. Contudo a decomposição da matéria orgânica estável do solo (fração húmica) é desfavorável para muitos processos químicos e físicos como a agregação, a capacidade de troca de cátions e capacidade de retenção de água (ISLAM & WEIL, 2000).

Assis Junior et al. (2003) estudando a respiração basal do solo (RBS), observaram maiores concentrações em área de mata nativa, comparando com sistemas de monocultura e área desmatada. Fialho (2005) trabalhando com indicadores da qualidade do solo em

áreas de vegetação natural e sob sistemas agrícolas anuais e perenes, observou elevados valores da RBS em área de vegetação natural em relação aos sistemas agrícolas. Costa et al. (2008) verificaram que a acumulação de resíduos orgânicos em área de plantio direto mostrou elevada RBS quando comparado com o início da implantação do sistema. A maior RBS pode ser atribuída à maior quantidade de matéria orgânica existente no solo contribuindo para uma maior presença de carbono prontamente disponível para a microbiota do solo, favorecendo principalmente a ciclagem de nutrientes.

Silva et al. (2009) avaliando a atividade microbiana pela liberação  $\text{CO}_2$  e a dinâmica da decomposição de esterco em solo de pastagem degradada sob condições de estresse hídrico simulado em casa de vegetação e em regime de chuva natural a campo, observaram que a atividade microbiana em todos os tratamentos sob condições de estresse hídrico foram inferiores em relação aos tratamentos sob regime de chuva natural a campo.

No entanto, a atividade microbiana do solo é de vital importância para a manutenção dos ecossistemas, pois participa de processos chave no solo, como decomposição de resíduos vegetais e animais, além da ciclagem de nutrientes (CHIMNER, 2004; MONSON, et al., 2006; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

### **2.6.2 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)**

A Biomassa Microbiana (BM) do solo é definida como a parte da matéria orgânica constituída pelos organismos vivos com volume menor que  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$  e engloba, principalmente organismos do Reino Archaea, Bacteria, Fungi e Protoctista e também alguns do Reino Animalia, como os nematóides. A BM é geralmente expressa como micrograma ( $\mu\text{g}$ ) de carbono por grama (g) de solo seco, sendo avaliado por diversos métodos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Segundo Gama-Rodrigues e De-Polli (2000), os valores de CBM indicam o potencial de reserva de C no solo, permitindo aferir o acúmulo ou perda de C em função do manejo ou da condição edáfica. Quanto maior o CBM, maior será a reserva de C no solo, o que expressa um menor potencial de decomposição da matéria orgânica. As determinações do CBM são importantes para avaliar o tamanho do reservatório mais ativo e dinâmico da matéria orgânica do solo constituído pela BM.

Fialho et al. (2006) ao estudarem os indicadores da qualidade do solo em áreas de mata nativa e cultivadas por bananeira, observaram maiores concentrações de CBM na camada superficial do solo, sendo os maiores valores verificados em área de mata nativa

pela maior presença de resíduos orgânicos e maior aporte de carbono à biomassa microbiana. Resultados semelhantes foram observados por Otutumi (2003) e Ribeiro (2003).

## **2.7 Parâmetro biológico do solo**

### **2.7.1 Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)**

Entre os diversos grupos de microrganismos do solo, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ocorrem naturalmente nos solos e formam uma associação benéfica com as raízes da maioria das plantas. Os vários filamentos que compõem o corpo do fungo penetram nas raízes e passam a funcionar como um sistema radicular adicional que se estende por espaços físicos não alcançados pelas raízes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Atualmente, a separação em grupos ou tipos pode variar dependendo do autor ou do enfoque dado, mas a tendência atual é a categorização em sete tipos distintos: arbuscular, ectomicorriza, ectendomicorriza, arbutóide, monotropóide, ericóide e orquidóide. A micorriza arbuscular é o tipo mais estudado e importante e são formadas por fungos classificados como do Filo Glomeromycota, colonizam as raízes de plantas de quase todos os gêneros das Gimnospermas e Angiospermas, além de alguns representantes das Briófitas e Pteridófitas. As indicações apontam que 80% das espécies vegetais formam esse tipo de micorriza. O fungo coloniza as células do córtex inter e intracelularmente, de modo muito característico, formando os arbúsculos, estruturas intraradiculares altamente ramificadas e típicas das micorrizas arbusculares. Em alguns grupos taxonômicos, formam-se também as vesículas, hifas com dilatações terminais (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

As associações micorrízicas arbusculares são caracterizadas por uma simbiose mutualística entre a raiz e o fungo endomicorrízico que proporciona à planta hospedeira um melhor desenvolvimento devido à maior absorção de nutrientes, principalmente fósforo, maior resistência ao estresse hídrico e transplante (SHIAVO & MARTINS, 2002). Esta associação além de aumentar a capacidade das plantas de absorverem nutrientes do solo, melhora a sua resposta aos diversos adubos e corretivos beneficiando desta forma seu crescimento e produção (MIRANDA et al., 2001). Existem ainda outras importantes funções que são atualmente atribuídas aos FMA como diminuição do teor de

manganês em plantas micorrizadas, sendo que essa proteção contra o excesso de Mn é atribuída a um efeito indireto dos fungos micorrízicos, os quais podem causar mudanças na composição das comunidades de microrganismos oxidantes e redutores de Mn na rizosfera e, por conseguinte, na nutrição das plantas em relação ao Mn (NOGUEIRA & CARDOSO, 2002).

A associação com fungos micorrízicos pode trazer muitos benefícios às plantas. Esses benefícios são consequências do aumento da zona de absorção das raízes, mediante o desenvolvimento de hifas externas dos fungos micorrízicos, que crescem além da zona de depleção favorecendo o aporte de nutrientes, especialmente o fósforo (P). Este fato ganha importância em solos tropicais onde em geral, é baixa a disponibilidade deste elemento para as plantas (SENA et al., 2004).

Minhoni e Auler (2003), trabalhando com mamoeiro, observaram que a presença de FMA reduz a necessidade de P para a cultura via fertilizante mineral. Martins et al. (1999) estudando a dinâmica dos FMA nativos e a sua contribuição no estabelecimento e no crescimento de plantas em áreas degradadas de cerrado, com a utilização de calcário e insumos orgânicos, verificaram que os FMA promoveram o estabelecimento de plantas nessa área e maximizaram os efeitos do calcário e dos insumos orgânicos utilizados.

Entretanto, devido à natureza biotrófica desses fungos que crescem e se multiplicam somente na presença de raízes metabolicamente ativas, a grande limitação é a produção em escala comercial de inóculo de FMA. Outro ponto a ser destacado é que na formação de mudas é possível realizar a inoculação com FMA garantindo o estabelecimento da simbiose, mas em semeadura direta, a inoculação torna-se mais difícil por causa da necessidade de grande quantidade de inoculante (FLORES-AYLAS et al., 2003).

Para Fortinet al. (2002), a compreensão da relação entre fungos micorrízicos arbusculares, outros componentes da biomassa microbiana do solo e as plantas é, portanto, um pré-requisito importante para a sustentabilidade dos ecossistemas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local do experimento

O experimento foi instalado em uma área degradada na zona rural do Município de General Sampaio, Ceará, de propriedade do Sr. Elias Andrade, localizado ao norte do estado, a uma distância de 113 km da capital, com as seguintes coordenadas geográficas 4° 03' 10'' de latitude e 39° 27' 16'' de longitude e altitude de 155 m. A região apresenta um relevo com depressões sertanejas, com um clima classificado com BSw'h', semiárido quente com chuvas de outono. O solo predominante é do tipo Luvisolos Crômicos e a vegetação da região é do tipo caatinga arbórea arbustiva.

O experimento foi conduzido por um ano e recebeu inicialmente o aporte de serapilheira oriunda da Área de Preservação Ambiental (APA) - Elias Andrade. A APA serviu como área de empréstimo, de onde foi retirada toda a serapilheira de uma área de 5 m x 5 m, em quatro pontos distintos, cuja média da massa total da serapilheira foi de 84 kg, a qual foi tomada como referencial quantitativo o tratamento 100%, considerado para efeito de aporte na área degradada, os outros tratamentos foram baseados nesse valor referencial (Tabela 1).

Tabela 1 - Tratamentos implantados no experimento em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.

Tratamento	Aporte
T1	0% de Serapilheira
T2	20% de Serapilheira
T3	40% de Serapilheira
T4	60% de Serapilheira
T5	80% de Serapilheira
T6	100% de Serapilheira

T1: Controle

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm que foram submetidas à análise química (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise química do solo antes da instalação do experimento nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm da área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2009.

Profundidade (cm)	N (g.kg <sup>-1</sup> )	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> ----- (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> ) -----	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	pH
0-5	1,20	3,2	0,32	5,9	5,5	6,0
5-20	1,00	2,0	0,24	6,0	6,7	5,7

A Tabela 3 representa os níveis de fertilidade para interpretação dos resultados da análise química do solo para o Estado do Ceará.

Tabela 3 - Níveis de fertilidade para interpretação dos resultados da análise de solo utilizados pelos laboratórios do Estado do Ceará, Fortaleza, 1993.

Determinações	Unidade	Classificação					
		Baixo	Médio	Alto	Muito Alto		
Fósforo (P)	mg.kg <sup>-1</sup>	0 – 10	11 – 20	21 – 40	> 40		
Potássio (K <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	0 – 45	46 – 90	91 – 180	> 180		
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	0 – 1,5	1,6 – 4,0	> 4,0	–		
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	0 – 0,5	0,6 – 1,0	> 1,0	–		
	Acidez	Neutralidade		Alcalinidade			
	Alta	Média	Baixa		Baixa	Média	Alta
pH*	< 5,0	5,1 – 5,9	6,0 – 6,9	7,0	7,1 – 7,4	7,5 – 7,9	> 7,9

\*pH em água (1:2,5)

### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com arranjo experimental em parcelas subdivididas (EPSSD), com os fatores nível de serapilheira sendo o tratamento principal, profundidade o subtratamento e a época considerada como subsubtratamento.

Foram utilizados 6 níveis de serapilheira (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%), 2 profundidades (0-5 e 5-20 cm) e 3 épocas (fevereiro/2009, setembro/2009 e fevereiro/2010) de coletas, envolvendo o período chuvoso e seco.

O croqui do experimento no campo foi composto de quatro blocos espaçados em 2,5 m, sendo cada bloco composto de seis parcelas (tratamento principal) de 5 m x 5 m espaçadas em 1,5 m (Figura 1).

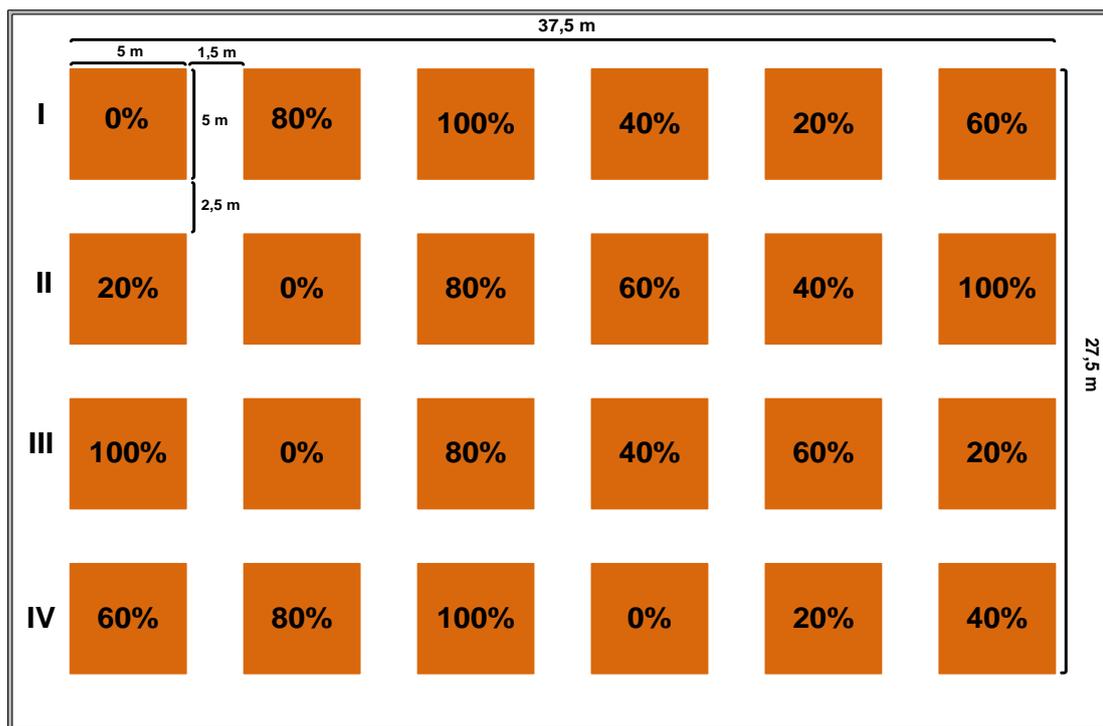


Figura 1 - Croqui do experimento em área de solo degradada na zona rural do Município de General Sampaio – CE, 2009.

Para manter a serapilheira sobre as parcelas em cada tratamento, após o aporte, efetuou-se uma cobertura de cada parcela com mantas protetoras de fibra de coco (Figura 2).



Figura 2 - Manta protetora de fibra de coco para manter a serapilheira nos tratamentos na área experimental no Município de General Sampaio – CE, 2008.

### 3.3 Coleta das amostras do solo

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm. Uma parte dessas amostras foi acondicionada em sacos de polietileno, armazenadas em caixas de isopor e transportadas ao Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC, para análises microbiológicas posteriores. A outra parte foi seca ao ar e peneirada, para serem utilizadas nas análises químicas. As coletas dessas amostras foram realizadas ao longo de um ano, sendo-as realizadas no momento da transferência da serapilheira da Área de Preservação Ambiental (APA) para a área degradada (fevereiro/2009), em (setembro/2009) e em (fevereiro/2010). As datas de coleta das amostras de solo são representativas dos períodos seco e chuvoso. A Figura 3 ilustra o aspecto geral da vegetação da Caatinga cearense nessas duas estações.



Figura 3 - Aspecto geral da vegetação da mata nativa da Caatinga cearense no período seco (1) e no chuvoso (2).

### 3.4 Parâmetros avaliados

Para investigar a qualidade do solo durante um ano, foram utilizados indicadores biológicos e químicos, para se quantificar e avaliar as mudanças na dinâmica do solo.

### 3.4.1 Análises microbiológicas do solo

Os parâmetros microbiológicos avaliados foram: Respiração Basal do Solo (RBS), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ) e Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).

#### a) Respiração Basal do Solo (RBS)

A respiração basal do solo foi estimada após um período de incubação do solo de 16 dias, sendo as leituras realizadas em intervalos de 2 dias em amostras de solo mantidas com umidade de aproximadamente 70% da capacidade de campo. A incubação foi realizada colocando-se cada amostra com 50g de solo em recipientes de vidro hermeticamente fechado, contendo dois béqueres, sendo um para manter a umidade do ar interna dentro do frasco e o outro com 20 mL de NaOH ( $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ ) (ALEF, 1995).

O C-CO<sub>2</sub> produzido pela respiração do solo foi capturado por uma solução de NaOH  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ , procedendo-se a titulação com HCl  $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$ , tendo como indicador a fenolftaleína a 1%. Foram mantidos frascos-controle (branco) que não continham amostras de solo.

#### b) Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

O CBM foi determinado pelo método irradiação-extração, com o objetivo de promover a morte dos microrganismos (lise celular) através da energia eletromagnética do forno de micro-ondas por um tempo de exposição previamente calculado de 3 minutos para o rompimento celular e liberação de compostos intracelulares. Para cada amostra de solos foram utilizados 20 g de solo em placa de Petri para irradiação em forno de micro-ondas e outras 20 g em erlenmeyer que não foram irradiadas. Em seguida, pesou-se 10 g de cada amostra de solo, levando-as a estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas para a determinação da umidade do solo. Depois das amostras irradiadas e não irradiadas estarem em erlenmeyers, foi adicionado 80 mL de  $K_2SO_4$  ( $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ ), seguido de agitação por trinta minutos e de filtragem em papel de filtro lento. A determinação do carbono presente no extrato foi procedida de acordo com Tedesco (1995), de onde foi retirada uma alíquota de 10 mL do extrato, adicionado 2 mL da solução de Dicromato de Potássio ( $K_2Cr_2O_7$ )  $0,066 \text{ mol.L}^{-1}$ , 10 mL de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado, 50 mL de água destilada

e 3 gotas da solução indicadora Ferroin. Esta solução foi titulada com a solução de Sulfato Ferroso Amônico ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ )  $0,03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  (ISLAM & WEIL, 1998; BROOKES et al., 1982).

### c) Quociente Metabólico ( $q\text{CO}_2$ )

Este índice prediz que a biomassa microbiana torna-se mais eficiente a partir do momento que menos carbono é perdido na forma de  $\text{CO}_2$  pela respiração, possibilitando assim, uma maior incorporação de carbono aos tecidos microbianos, segundo Tótila & Chaer (2002), valores mais elevados de  $q\text{CO}_2$  indicam maior consumo de carbono prontamente mineralizável, elevando-se as perdas de C.

O cálculo do quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) foi realizado pela divisão da RBS/CBM (ANDERSON & DOMSCH, 1978).

### d) Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)

Para verificar a presença dos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) nas parcelas, foi utilizada a contagem de esporos de FMA no solo, a partir de 100 g de solo pela técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN & NICHOLSON, 1964). A contagem foi realizada após o peneiramento dos esporos, por meio da observação microscópica em placa de retículo de contagem, sendo determinada a densidade de esporos e identificação taxonômica a nível gênero.

## 3.4.2 Análises químicas do solo

As análises químicas do solo foram analisadas no Laboratório de Rotina do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC. Os íons trocáveis  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^+$  foram extraídos com acetato de amônio a pH 7,0. Por titulometria com EDTA 0,025 N foram determinados  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , e por fotometria de chama o  $\text{K}^+$ . O fósforo (P) disponível foi extraído por Mehlich1 e determinado por colorimetria, o nitrogênio (N) foi determinado por meio de digestão sulfúrica, destilação Kjeldahl, em seguida o N contido no extrato foi quantificado por titulação. O pH em água (1:2,5) foi determinado por potenciometria de acordo com metodologia da Embrapa (1997).

### **3.5 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias avaliadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Assistência Estatística (ASSISTAT) (SILVA & AZEVEDO, 2002, 2006, 2009).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Parâmetros microbiológicos

#### 4.1.1 Respiração Basal do Solo (RBS)

A análise da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre a Respiração Basal do Solo (RBS) (Figura 4), evidencia que não houve diferença significativa da RBS entre os diferentes níveis de serapilheira para cada profundidade, porém, houve diferença entre as duas profundidades avaliadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

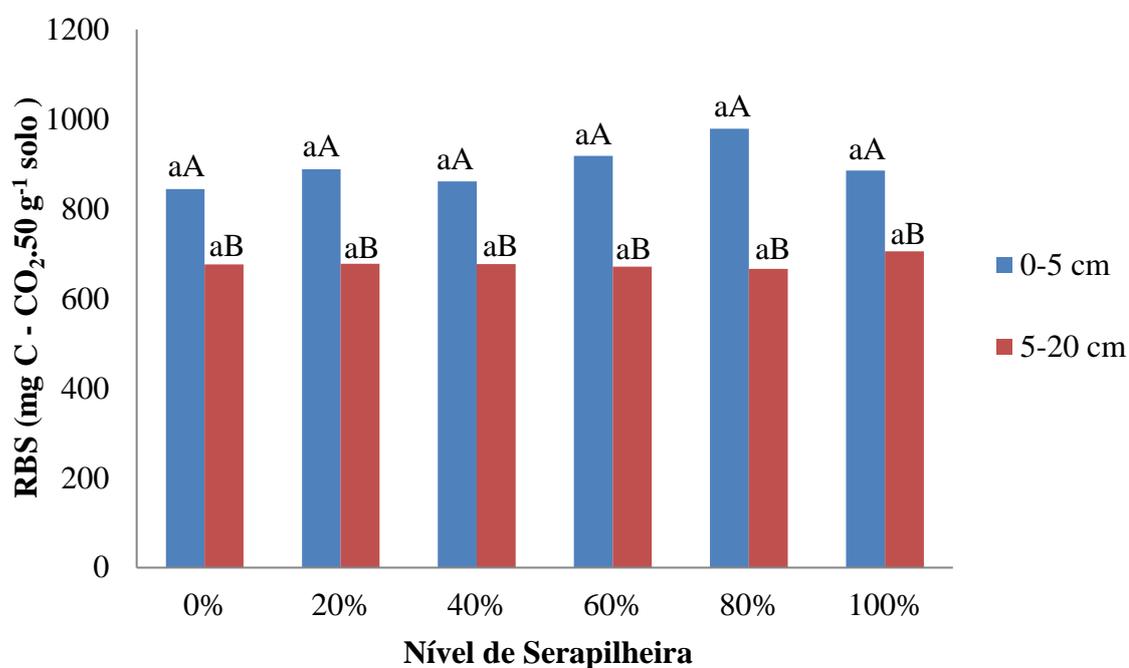


Figura 4 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre a Respiração Basal do Solo (RBS) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A RBS na profundidade de 0-5 cm apresentou valores entre 844,04 mg C-CO<sub>2</sub>.50 g<sup>-1</sup> de solo para o tratamento controle a 978,34 mg C-CO<sub>2</sub>.50 g<sup>-1</sup> de solo para o nível de serapilheira 80%, o qual foi a maior concentração da RBS para essa camada.

Esses tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si (Figura 4), e foram superiores aos valores encontrados na profundidade de 5-20 cm, os quais variaram entre 666,02 a 705,30 mg C-CO<sub>2</sub>.50 g<sup>-1</sup> de solo, para os níveis de 80% e 100% de serapilheira, respectivamente. Conforme observado, a serapilheira não influenciou significativamente na RBS, embora alguns níveis tenham apresentado respostas quantitativamente superiores na profundidade de 0-5 cm, tal fato, provavelmente pode ser atribuído à baixa distribuição dos fragmentos da serapilheira no perfil do solo. Segundo Vargas e Scholles (2000), as diferenças na atividade microbiana ao longo do perfil do solo, refletem na distribuição dos resíduos vegetais no perfil.

Os maiores valores referentes à RBS na camada de 0-5 cm comparado com a camada de 5-20 cm, pode ser atribuído à maior quantidade de matéria orgânica existente na superfície do solo, contribuindo para uma maior presença de carbono prontamente disponível. Fialho (2005) ao estudar indicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo, observou que a área de mata nativa apresentou maior quantidade de serapilheira em diferentes fases de decomposição na camada superficial do solo, e conseqüentemente, maior foi a RBS quando comparada com áreas em sistemas agrícolas.

A distribuição espacial da RBS nesta pesquisa apresentou tendência similar a observada por Peña et al. (2005) em estudos da RBS em três horizontes superficiais do solo: horizonte F (folhas fragmentadas), H (húmus) e A (solo mineral) em três áreas de floresta com diferentes estádios de reabilitação. Os referidos autores concluíram que a respiração da microbiota do solo em todas as áreas foi maior entre as camadas do solo na seguinte ordem F>H>A.

Avaliando-se o desdobramento da interação Nível de Serapilheira x Época sobre a Respiração Basal do Solo (RBS) (Figura 5), observa-se que não houve diferença significativa da RBS entre os diferentes níveis de serapilheira para cada época. No entanto, houve efeito significativo da RBS entre as épocas em estudo ( $P < 0,05$ ).

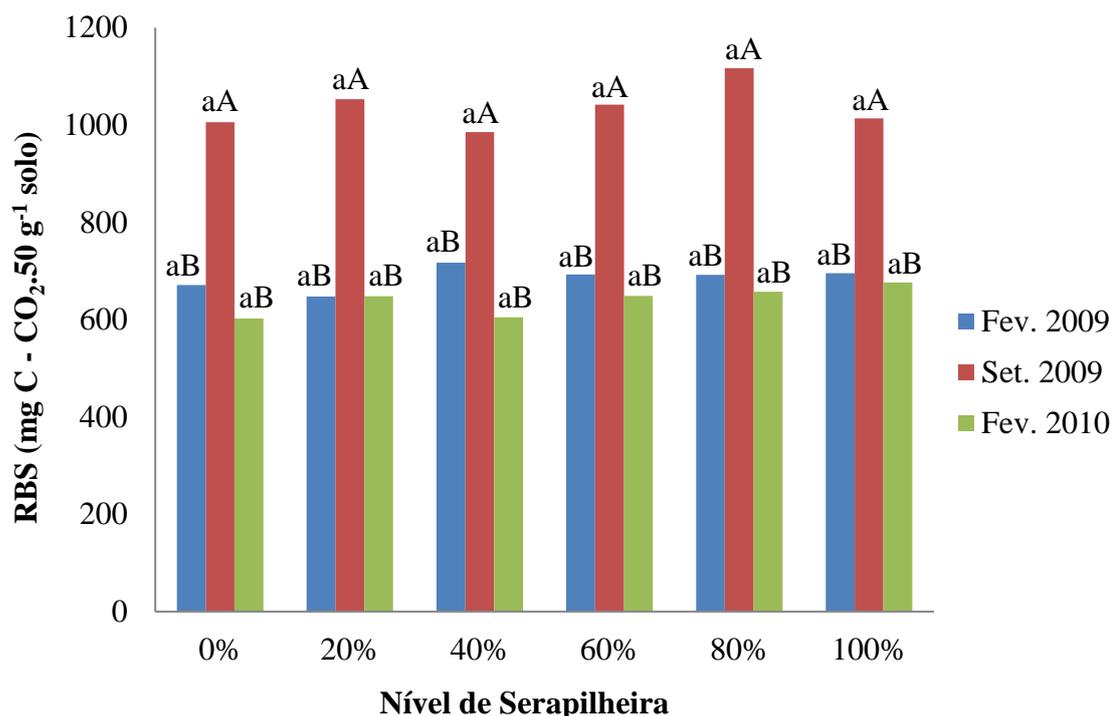


Figura 5 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre a Respiração Basal do Solo (RBS) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>2</sup>.

A RBS em setembro/2009 foi superior às duas outras épocas (fevereiro/2009 e fevereiro/2010) com maior concentração da RBS no nível 80%, porém, a RBS foi superior nessa época provavelmente pela altura pluviométrica registrada no ano de 2009, fato que deve ter favorecido à decomposição da serapilheira durante a quadra chuvosa (fevereiro a maio de 2009), a precipitação pluviométrica total foi superior a média histórica em 59% para o estado do Ceará e de 70% para a macro-região 2, região de localização da área experimental deste trabalho no município de General Sampaio, Ceará. Desde 1985, não havia uma quadra chuvosa com valores tão elevados, porém, no ano de 2010, as precipitações foram abaixo da média (FUNCEME, 2010). Portanto, o regime hídrico que antecedeu ao período da coleta do solo para as análises experimentais em setembro/2009 pode ter favorecido a RBS, o que não ocorreu no período de fevereiro/2010 que foi precedido por longa estiagem (Figura 6).

A literatura mostra que os microrganismos são muito sensíveis e podem ser influenciados pelos fatores bióticos e abióticos (VARGAS & SCHOLLES, 2000;

<sup>2</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

ANDRADE, 1999). As condições ambientais estimulam ou inibem o desenvolvimento e a atividade de cada um dos grupos de microrganismos. Entre as variáveis climáticas, a precipitação e a temperatura são os fatores que exercem maior influência sobre a atividade microbiana do solo (MASON, 1980; SANTOS & CAMARGO, 1999).

A estreita relação existente entre o regime pluviométrico e a atividade microbiana foi investigada e identificada por Silva et al. (2009). Tal informação é de significativa importância para reabilitação de áreas degradadas, mostrando que durante o período seco do ano, a atividade microbiana é reduzida e conseqüentemente a nutrição das culturas via aporte de serapilheira é comprometida.

Portanto, em consequência desta relação vários pesquisadores consideram a RBS um dos melhores indicadores para medir a degradação do carbono pela microbiota do solo, essencialmente na presença de umidade.

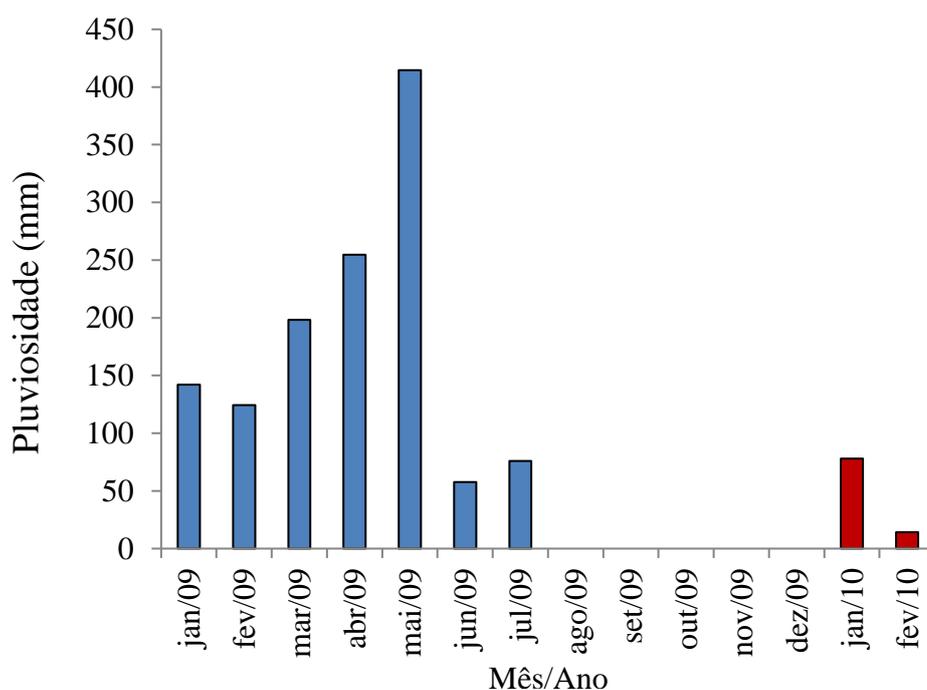


Figura 6 – Pluviosidade média mensal do ano 2009 e início de 2010 do Município de General Sampaio, CE (Fonte: FUNCEME, 2010).

#### 4.1.2 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

O efeito da interação observada para o Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) (Figura 7), evidencia que houve efeito significativo do CBM tanto para os diferentes níveis de serapilheira para cada profundidade quanto para as profundidades analisadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

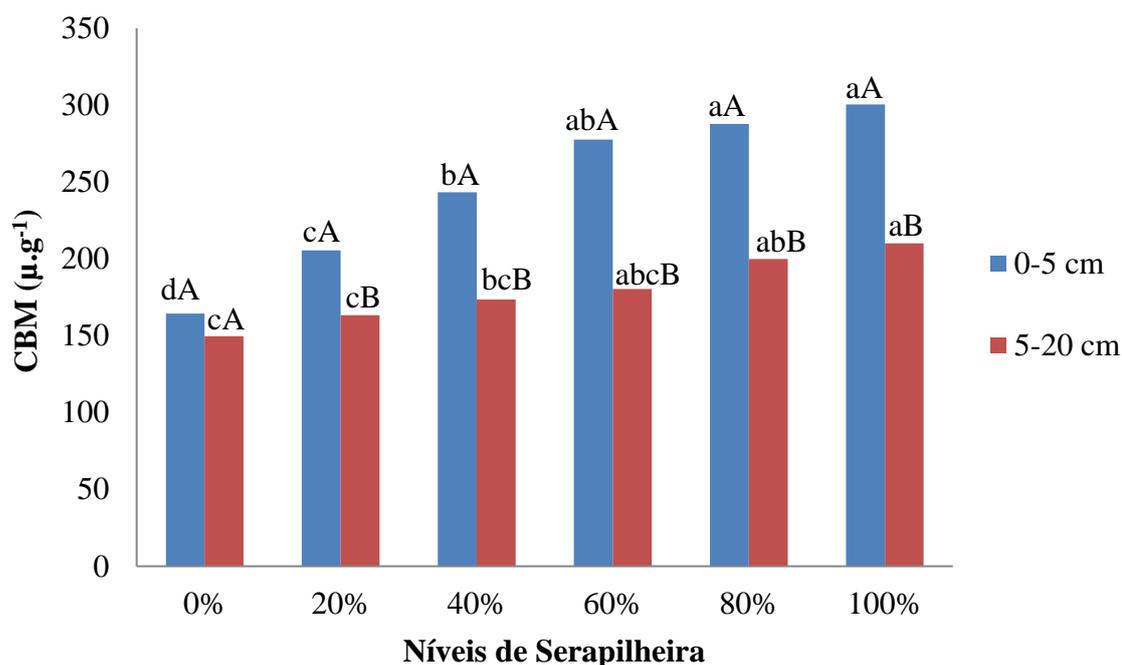


Figura 7 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>3</sup>.

A camada de 0-5 cm apresentou as maiores concentrações de CBM, com comportamento crescente conforme os níveis de serapilheira. Os maiores valores do CBM para essa profundidade foram observados nos níveis de serapilheira 80% e 100%, que apresentaram valores de 287,80 e 300,37  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de solo respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

<sup>3</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as profundidades pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Esses valores foram superiores aos da profundidade de 5-20 cm que apresentou valores de 199,68 e 210,14  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de solo para os níveis de serapilheira 80% e 100% respectivamente, os quais não apresentaram diferença significativa entre si, contudo diferiram significativamente dos mesmos níveis da camada de 0-5 cm.

A maior concentração de CBM na camada de 0-5 cm conforme Alvarez et al. (1995), deve-se ao maior acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo. Matsuoka et al. (2003) avaliando a sensibilidade dos parâmetros microbiológicos em área de mata nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes observou que em todas as áreas do estudo o CBM foi superior na camada de 0-5 cm, sendo que nos sistemas anuais e perenes houve uma redução de até 75% do CBM quando comparado com a mata nativa para essa camada. Essas informações também foram confirmadas por Ribeiro (2003), Otutumi (2003), Fialho (2005) e Ferreira (2007).

Entretanto, o estudo da interação entre Nível de Serapilheira x Época sobre o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) (Figura 8), apresentou comportamento semelhante ao obtido pela Respiração Basal do Solo (RBS) (Figura 5), em que foram observadas maiores concentrações tanto de CBM quanto da RBS no período de setembro/2009.

O CBM em setembro/2009 foi superior às duas outras épocas estudadas (fevereiro/2009 e fevereiro/2010), provavelmente pelo regime hídrico (Figura 6) que antecedeu a coleta do solo, o que deve ter favorecido a maior decomposição da serapilheira e maior aporte de carbono à biomassa microbiana. Nessa época, o nível de serapilheira 100% apresentou o maior valor de CBM, com 301,51  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de solo, esse nível não diferiu dos níveis 60% e 80%, diferindo dos demais. O nível 80% não apresentou diferença significativa em relação aos níveis 40% e 60%, diferindo do tratamento controle e do nível 20% de serapilheira.

Segundo Bayer e Mielniczuk (1999) e Moreira e Siqueira (2006), a serapilheira sofre decomposição parcial pela macro e mesofauna e, posteriormente pela ação decompositora da microbiota do solo. Após a incorporação da serapilheira ao solo, parte do carbono adicionado é desprendida na forma de  $\text{CO}_2$  e parte pode permanecer inalterada ou ser incorporada à biomassa microbiana. Ferreira et al. (2007) estudando a influência do sistema de manejo em plantio direto com rotação soja e milho na dinâmica do CBM envolvendo o período chuvoso e seco, observou que após o período chuvoso, houve uma maior concentração de CBM nas camadas mais superficiais para as mais profundas,

decrecendo no período chuvoso, tal fato pode ser atribuído a imobilização do carbono na biomassa microbiana.

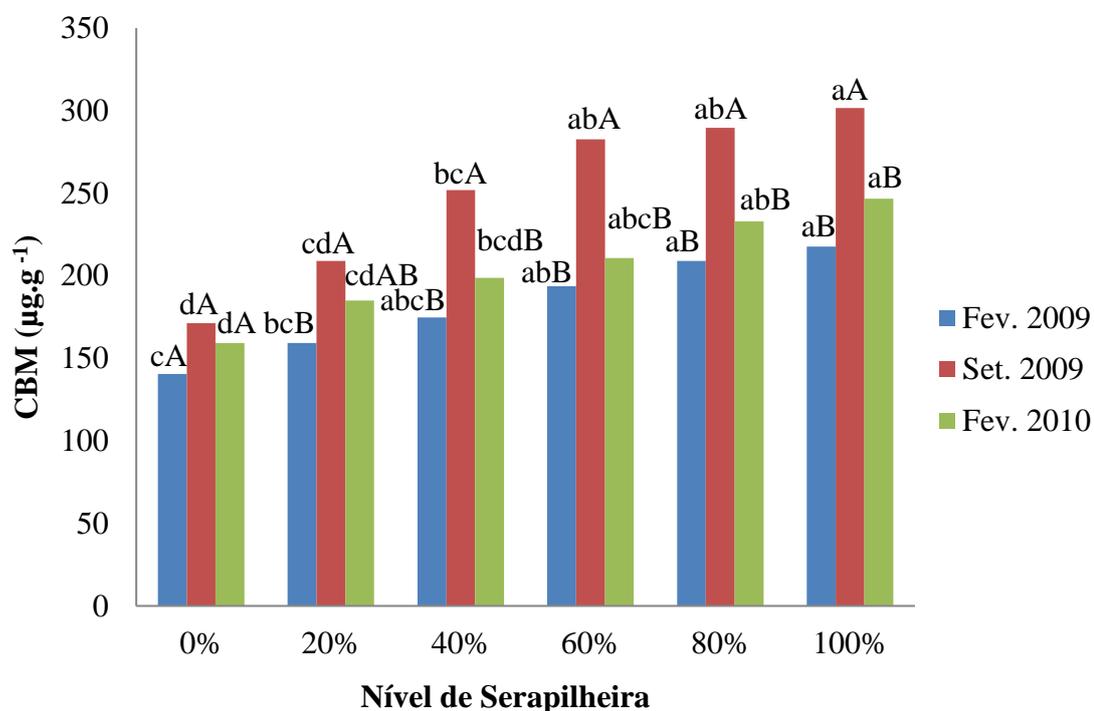


Figura 8 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>4</sup>.

No período de fevereiro/2010 os teores de CBM foram menores em relação ao período de setembro/2009, possivelmente devido à baixa altura pluviométrica registrada nos seis meses que antecederam a coleta do solo (Figura 6), o que deve ter aumentado a mineralização do carbono e diminuído a disponibilidade de resíduos orgânicos para a biomassa microbiana. Fato semelhante foi observado em trabalho de Ferreira et al. (2007).

Pelos resultados, observa-se que a serapilheira contribuiu positivamente para a elevação do CBM e o tempo de exposição da serapilheira no solo influenciou nos resultados. Segundo Della Bruna et al. (1991), a adição de serapilheira pode aumentar cerca de cinco vezes a atividade biológica nos solos, o que indica que a adição dessa fonte de carbono pode ser uma alternativa na reabilitação de áreas degradadas.

<sup>4</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 4.1.3 Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)

O efeito da interação observada para o Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>) (Figura 11), evidencia que houve efeito significativo do qCO<sub>2</sub> na profundidade de 0-5 cm entre o tratamento controle e o nível de serapilheira 100 % (P < 0,05).

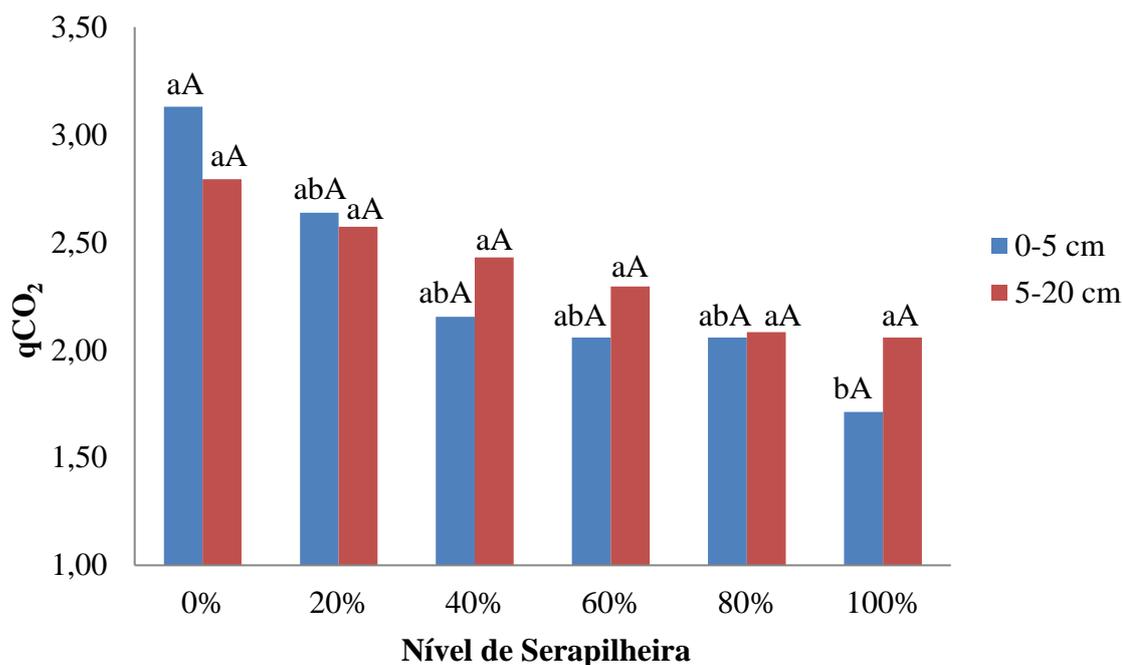


Figura 9 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>5</sup>.

De acordo com Bardgett e Sagar (1994), valores elevados de qCO<sub>2</sub> são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbio. Silva et al. (2007) relatam que elevados valores de qCO<sub>2</sub> indica alta demanda de energia da comunidade microbiana para sua manutenção, isso devido a alguma condição de estresse ambiental sofrida, porém esse estresse tende a diminuir ao longo do tempo com a recuperação do ambiente. Anderson (1994) relata que o qCO<sub>2</sub> pode ser aplicado para avaliar os efeitos do estresse sobre a comunidade microbiana.

<sup>5</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as profundidades pelo teste de Tukey (P < 0,05).

No entanto, percebe-se que o nível de 100% de serapilheira apresentou o menor  $qCO_2$  na profundidade de 0-5 cm, isso é justificado pela maior disponibilização de serapilheira aportada na superfície do solo correspondendo a maior presença de grandes quantidades de carbono prontamente disponível para utilização da microbiota do solo. Para essa profundidade, o tratamento controle diferiu estatisticamente do nível 100% provavelmente pela ausência da serapilheira nesse tratamento que pressupõe-se um maior gasto de energia da microbiota do solo para a manutenção da sua atividade metabólica. Os níveis de serapilheira 40%, 60%, 80% e 100% na camada de 0-5 cm, foram menores quando comparado com o tratamento controle e o nível 20% de serapilheira, isso pode ser atribuído ao maior aporte de serapilheira que deve ter contribuído para a menor demanda de energia da microbiota do solo para a manutenção da sua atividade metabólica.

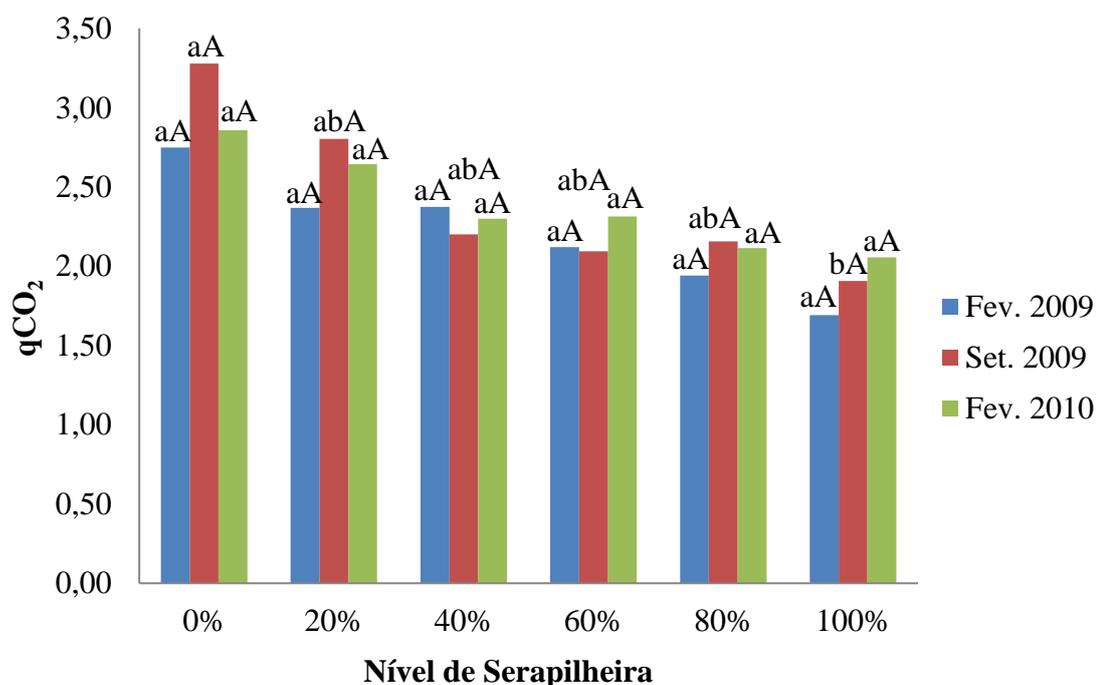


Figura 10 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Carneiro et al. (2008) avaliando a atividade microbiana em área de mata nativa e em área de mineração de bauxita em processo de reabilitação, observaram que o  $qCO_2$  foi superior na área em processo de reabilitação quando comparada com a mata nativa, sendo, portanto, indicativo do estresse provocado ainda pela mineração. Silva et al. (2007) avaliando sistemas de plantio direto e convencional por meio de indicadores biológicos do solo, verificaram que o  $qCO_2$  foi superior em sistema de plantio convencional.

Entretanto, no período de setembro/2009 (Figura 12), o tratamento controle diferiu estatisticamente do nível 100% de serapilheira, provavelmente pela ausência de serapilheira nesse tratamento, o que demandou maior gasto de energia da microbiota do solo para a sua manutenção. De modo geral e em termos quantitativos, o nível 100% de serapilheira nas três épocas em estudo, teve o menor  $qCO_2$  provavelmente pela maior eficiência na utilização dos compostos orgânicos pela população microbiana do solo. Martins (2009) observou que o  $qCO_2$  em áreas com vegetação conservada apresentou valores menores do que em áreas moderadamente degradadas e intensamente degradadas.

#### **4.1.4 Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)**

O efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre a densidade de esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) (Figura 9), indica que houve efeito significativo dos FMA, tanto para os diferentes níveis de serapilheira de cada profundidade, quanto entre as profundidades avaliadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Observa-se na camada de 0-5 cm que os níveis 80% e 100% apresentaram as maiores densidades de esporos de FMA, com valores de 1022 e 1043 esporos de FMA.  $100\text{ g}^{-1}$  de solo, respectivamente, os quais não diferiram entre si, mas diferiram dos demais níveis. Verifica-se que quanto maior o nível de serapilheira, maior foi o número de esporos de FMA, isso pode ter acontecido provavelmente devido a maior diversidade de sementes aportadas juntamente com a serapilheira que ao germinarem, posteriormente favoreceram a colonização das plantas pelos FMA e o estabelecimento das associações micorrízicas. Segundo Moraes et al. (1998), o aporte de serapilheira ao solo produz sombra e retém umidade, criando condições microclimáticas que influem na germinação das sementes e estabelecimento de plântulas.

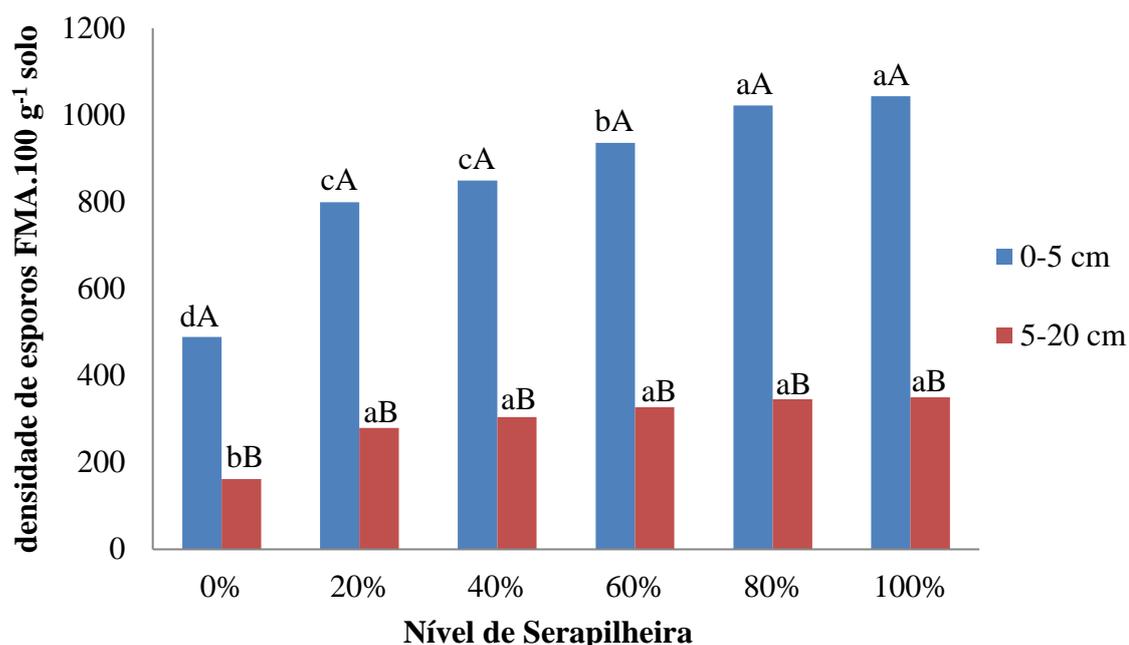


Figura 11 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre a densidade de esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>7</sup>.

Os FMA ocorrem naturalmente nos solos e formam associações simbióticas mutualísticas com as raízes da maioria das plantas, são biotróficos obrigatórios e, portanto, apenas propagam-se quando associados a uma planta viva. No entanto, o período de fevereiro/2009 a setembro/2009, foi o período experimental em que as plantas nativas desenvolveram-se mais, e conseqüentemente formaram as associações simbióticas com os FMA, já no período compreendido entre setembro/2009 e fevereiro/2010, mesmo com baixas precipitações pluviométricas (Figura 6) foi observada a presença de extrato herbáceo e plantas arbustivas o que pode ter contribuído para crescente esporulação na área do presente trabalho (Figura 10). Moreira e Siqueira (2006) citam em seu trabalho que, para multiplicação *in vivo* dos FMA, basta obter uma planta hospedeira em substrato isento de propágulos de FMA e aguardar por um período de 3 a 4 meses para a ocorrência da esporulação dos fungos.

<sup>7</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as profundidades pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Relatam também que sua propagação geralmente é inibida em condições de elevada fertilidade e favorecida pela baixa fertilidade, onde a colonização e a esporulação são geralmente máximas, além de sobreviverem em condições extremamente secas.

No presente trabalho, as condições iniciais de fertilidade observadas na análise química do solo avaliado (Tabela 2) mostram que os nutrientes P e K são considerados baixos segundo o manual de recomendação de adubação e calagem para o Estado do Ceará (CEARÁ, 1993) (Tabela 3). Além disso, Moreira e Siqueira (2006), citam que o pH é um fator importante para a ecologia e distribuição desses fungos, porém já foi registrada a presença de FMA em solos com variação de pH entre 3 a 10. Para o presente trabalho, o pH do solo apresentou valores variando entre 5,7 a 6,3 para a camada de 0-20 cm (Figura 17) e baixos níveis de fertilidade do P e K, tais condições podem ter contribuído para que os FMA se propagassem na área avaliada.

Fialho (2005) trabalhando com indicadores da qualidade do solo em áreas de vegetação natural e sob sistemas agrícolas anuais e perenes na Chapada do Apodi e Martins et al. (1999) trabalhando com áreas degradadas do cerrado, encontraram resultados semelhantes para a densidade de esporos FMA em todas as áreas estudadas na profundidade de 0-5 cm. Vários pesquisadores relatam que a camada arável do solo é o local onde se concentram as raízes absorventes das plantas, e conseqüentemente, é o principal habitat e reservatório de propágulos de FMA.

No entanto, o estudo do efeito da interação observada para o Nível de Serapilheira x Época sobre a densidade de esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) (Figura 10), evidencia que houve diferença significativa dos FMA entre os diferentes níveis de serapilheira para cada época e entre as épocas em estudo, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

As maiores densidades de FMA nos períodos, foram observadas em setembro/2009 no nível de serapilheira 100% que apresentou 699 esporos de FMA.100 g<sup>-1</sup> de solo e no período de fevereiro/2010 nos níveis de serapilheira 80% e 100% que apresentaram valores de 753 e 752 esporos de FMA.100 g<sup>-1</sup> de solo, respectivamente. Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) em 2010 houve baixas precipitações pluviométricas (Figura 6), mesmo com baixa umidade no solo observada no presente estudo, houve crescimento do número de esporos de FMA, provavelmente pela presença de extratos herbáceos e em menor proporção de extratos arbustivos.

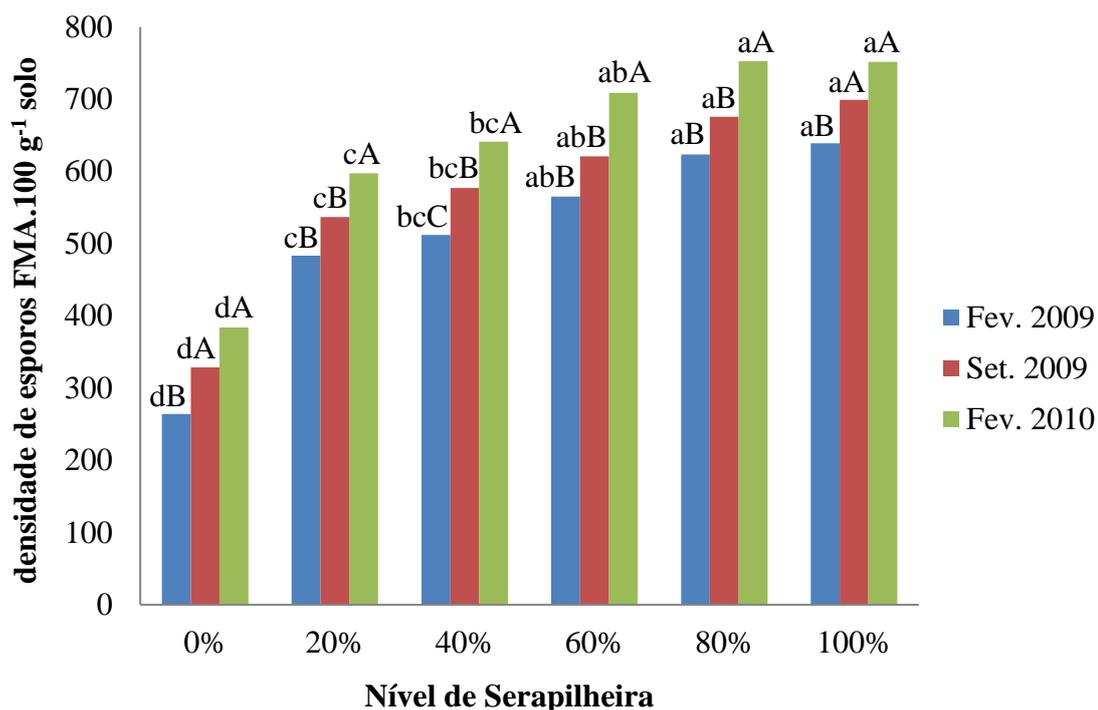


Figura 12 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre a densidade de esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) em solo de área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>8</sup>.

Martins et al. (1999) estudando a contribuição de FMA nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia kunth* em áreas degradadas do cerrado, observaram maior quantidade de esporos de FMA no período chuvoso. Segundo Maschio et al. (1992), os FMA têm adaptabilidade para colonizarem áreas que apresentem condições físicas, químicas e biológicas adversas e dependem da umidade do solo para a sua multiplicação. Essas alterações durante as estações do ano decorrem principalmente das flutuações de precipitação pluvial (ALLEN & ALLEN, 1984).

Martins et al. (1999) observaram que o número de esporos de FMA no solo variou entre os períodos seco e chuvoso, também em cada substrato estudado, havendo um incremento no período chuvoso. Esse tipo de variação sazonal foi constatado também por Miranda (1981) em área de cerrado cultivada com *Brachiaria humidicola*. Aquino (2002) relata que apesar das perturbações que áreas degradadas vêm sofrendo ao longo dos anos, os FMA têm se mostrado tolerantes e com elevada capacidade de multiplicação.

<sup>8</sup>Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A associação entre os FMA e as plantas proporciona à planta hospedeira um melhor desenvolvimento devido à maior absorção de nutrientes, principalmente o fósforo, maior resistência ao estresse hídrico e transplante (SHIAVO & MARTINS, 2002). Para Fortinet et al. (2002), a compreensão da relação entre fungos micorrízicos arbusculares, outros componentes da biomassa microbiana do solo e as plantas é, portanto, um pré-requisito importante para a sustentabilidade dos ecossistemas.

No presente estudo, os principais gêneros encontrados de FMA no solo foram: *Glomussp.*, *Gigaspora sp.* e *Scutellospora sp.* (SHENCK & PEREZ, 1988).

## 4.2 Parâmetros químicos do solo

### 4.2.1 Nitrogênio (N)

A análise da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor do Nitrogênio (N) do solo (Figura 13), observa-se que houve diferença significativa do N entre os diferentes níveis de serapilheira na profundidade de 0-5 cm e entre as duas profundidades pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Observa-se que na camada de 0-5 cm, a maior concentração de N foi verificada no nível de serapilheira 60%, com valor  $2,04 \text{ g.kg}^{-1}$  de solo. Esse nível não apresentou diferença significativa para os níveis 20%, 80% e 100%, porém apresentou diferença significativa para o tratamento controle e para o nível 40% de serapilheira. Verifica-se que apesar da diferença estatística do N entre alguns níveis, parece não haver influência tão perceptíveis dos tratamentos, provavelmente o tempo do experimento não apresentou informações tão conclusivas a curto prazo.

Entretanto, a camada de 0-5 cm apresentou as maiores concentrações de N quando comparado com a camada de 5-20 cm, provavelmente pela maior disponibilidade de serapilheira na superfície do solo. Segundo Novais et al. (2007), o N pode ingressar no sistema solo-planta por deposição atmosférica, fixação biológica (simbiótica ou não), adubação mineral ou orgânica. Por outro lado, pode sair por meio de remoção pelas culturas e variados mecanismos de perdas, que incluem lixiviação e volatilização. Relatam também, que a mineralização da matéria orgânica libera o N inorgânico que constitui a principal fonte de N para as plantas em muitos ecossistemas, e cerca de 95% do N do solo está associado à matéria orgânica, em solos agrícolas a porção ativa do N orgânico corresponde a cerca de 10 a 15% do N total.

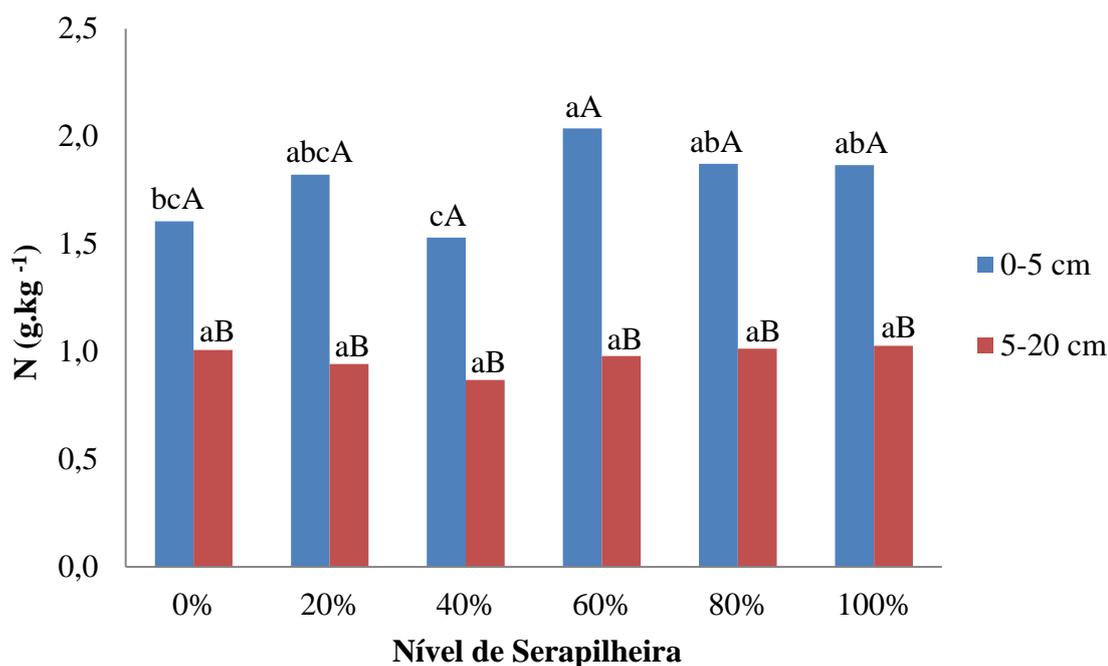


Figura 13 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Nitrogênio (N) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>9</sup>.

Segundo Moreira e Siqueira (2002), as condições ótimas para a mineralização do N orgânico do solo são as que favorecem a atividade dos microrganismos, tais como: pH entre 6 a 7, condições aeróbias, umidade em torno de 50 a 70% da capacidade de retenção de água pelo solo e temperatura ambiental entre 40 a 60 °C. Para o presente estudo, condições similares a estas foram observadas, com valores médios de pH variando entre 6,1 a 6,3 para a camada de 0-5 cm (Figura 17), precipitações acima da média para o Estado do Ceará (Figura 6), possibilitando boas condições de umidade no solo e temperaturas médias mensais variando de 26 a 28 °C (IPECE, 2009).

Novais et al. (2007) observaram que em sistema de plantio direto, o alto aporte de matéria orgânica tende a apresentar maior ciclagem do N do que em sistemas mais pobres em fornecimento de resíduos vegetais. Lovato et al. (2004) e Teixeira et al. (1994) trabalhando com plantio direto e rotação de culturas, incluindo leguminosas e culturas capazes de reciclar o N no inverno, observaram aumento no teor de N do solo acima do valor inicial na camada até 17,5 cm, após 10 anos de plantio direto. Lovato et al. (2004)

<sup>9</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as profundidades pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

partindo de um solo degradado, só conseguiram elevar o estoque o N orgânico depois de 13 anos com rotação que incluíam leguminosas. Luca (2002), observou aumentos significativos da concentração de N no solo na camada de 0-5 cm após 4 anos de manejo em área de cana-de-açúcar sem queima em relação a área com queima.

Observa-se que para elevar o N no solo, esses pesquisadores tiveram que utilizar técnicas de manejo que apresentaram resultados a médio e longo prazo. Contudo, o tempo de condução do experimento foi insuficiente para observações mais conclusivas com relação ao N no solo através do aporte da serapilheira em área degradada.

Entretanto, avaliando o estudo da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor do Nitrogênio do Solo (N) (Tabela 4), indica que houve diferença significativa do N entre os níveis de serapilheira nos períodos de fevereiro/2009 e setembro/2009, e entre as épocas estudadas, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Para o segundo período em estudo (setembro/2009), observa-se que houve uma maior concentração de N no solo, e tal fato deve ser atribuído provavelmente a maior mineralização da serapilheira. Esse período não apresentou efeito significativo para o período fevereiro/2009, porém apresentou para o período de fevereiro/2010. O nível de serapilheira 60% teve a maior concentração de N em setembro/2009, não diferiu estatisticamente dos níveis 20% e 100%, diferindo dos demais. Para o nível 100%, não apresentou diferença significativa entre os outros níveis, isso mostra que o tempo de condução do experimento não foi suficiente para observações mais conclusivas.

Tabela 4 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Nitrogênio (N) ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.

Nível de Serapilheira	Época			Média
	Fev. 2009	Set. 2009	Fev. 2010	
0%	1,23 abA	1,32 bA	1,37 aA	1,31 ab
20%	1,40 abAB	1,51abA	1,24 aB	1,38 ab
40%	1,16bA	1,20 bA	1,24 aA	1,20 b
60%	1,56 aA	1,77 aA	1,19 aB	1,51 a
80%	1,57 aA	1,33 bA	1,43 aA	1,44 ab
100%	1,44 abA	1,49 abA	1,41 aA	1,45 a
Média	1,39 AB	1,44 A	1,32 B	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V. (%) Nível de Serapilheira: 20,83; C.V. (%) Época: 15,23.

Segundo Novais et al. (2007), o ciclo do N é controlado por fatores físicos, químicos e biológicos e afetados por condições climáticas difíceis de prever e controlar. Raj (1991) relata que a concentração do N do solo varia de acordo com as condições ambientais, aumenta no período chuvoso e diminui no período seco. Essa flutuação é explicada pela atividade mais intensa da microbiota do solo na estação chuvosa que tem maior disponibilidade de água e resíduos orgânicos para decomposição. A Figura 5 da Respiração Basal do Solo (RBS) mostra essa alta atividade microbiana no período de setembro/2009, confirmando a maior concentração do N no solo neste período.

Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) ao estudar o nitrogênio e a atividade microbiana via serapilheira no solo, constataram que os maiores valores de N foram na quadra chuvosa. Foth e Ellis (1996) relataram que a mineralização de resíduos orgânicos diminuiu com a redução da umidade, mas pode continuar ocorrendo mesmo quando o solo seca, além do ponto de murcha permanente (-1,5 MPa), o que sugere que pode haver um acúmulo de N inorgânico no solo durante o período de seca. Relataram também que o umedecimento do solo seco parece estimular a mineralização e provocar o pico de liberação de N disponível, o que pode explicar o estímulo ao crescimento das plantas após as chuvas que ocorrem depois de um período seco.

#### **4.2.2 Fósforo (P)**

O desdobramento da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Fósforo (P) do solo (Figura 14), permite observar que não houve diferença significativa do P entre os diferentes níveis de serapilheira para cada profundidade. Contudo, houve efeito significativo entre as duas profundidades em estudo ( $P < 0,05$ ).

O P no solo apresentou redução com a profundidade, a camada de 0-5 cm apresentou as maiores concentrações de P. Resultados semelhantes para essa profundidade foram observados por Sousa Júnior et al. (2001), bem como por Tokura et al. (2002) e Fialho (2005).

De acordo com a recomendação de adubação e calagem para o Estado do Ceará (Ceará, 1993) (Tabela 3), os teores de fósforo deste trabalho são considerados baixos para os níveis de fertilidade do solo. As maiores concentrações de P na camada de 0-5 cm foram observadas no nível 40% com teor de  $5,92 \text{ mg.kg}^{-1}$  de solo e no nível 60% de serapilheira com o teor  $5,75 \text{ mg.kg}^{-1}$  de solo, que foram superiores e diferiram

estatisticamente das concentrações da camada de 5-20 cm, que apresentaram valores entre 3,58 a 2,50 mg.kg<sup>-1</sup> de solo para o nível 80% e 40% de serapilheira, respectivamente.

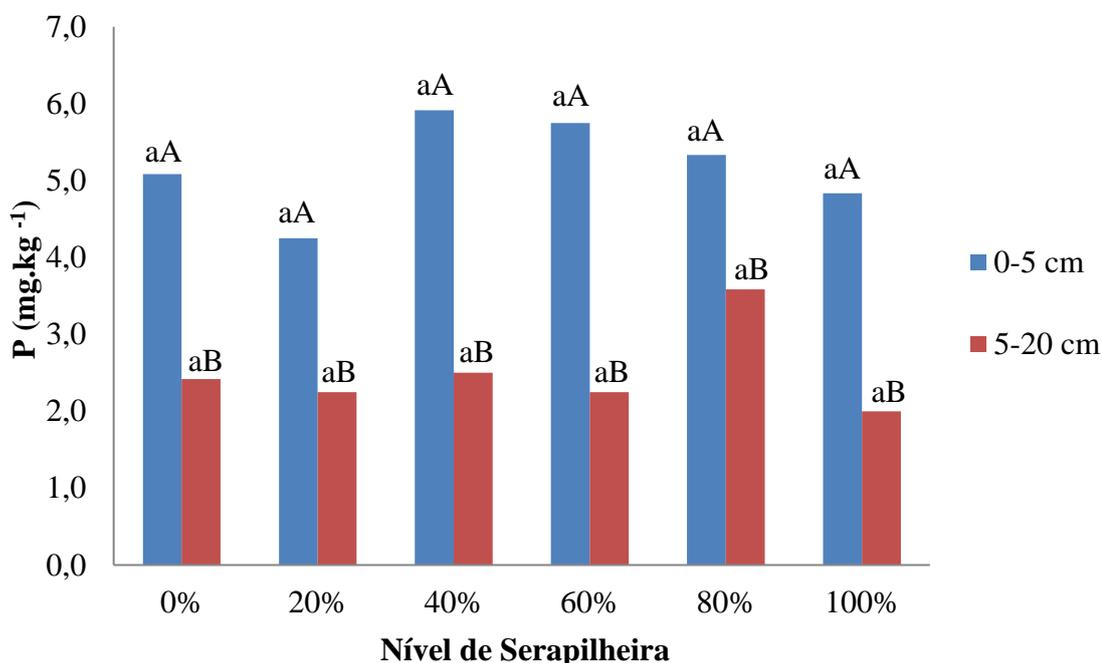


Figura 14 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Fósforo (P) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>10</sup>.

A adição de P ao solo via serapilheira, decomposição de raízes, resíduos de culturas, excreções de animais e morte dos organismos do solo, constitui o ponto inicial da formação do fósforo orgânico (Po) do solo (Po inclui o P de organismos e da matéria orgânica não-viva) (NZIGUHEBA & BUNEMANN, 2005). Os microrganismos do solo podem mineralizar o Po, mas também imobilizar o P a partir da solução do solo. Barber (1984) cita que a liberação do Po para a solução do solo é controlada pela mineralização da matéria orgânica.

As diferenças significativas entre os níveis de serapilheira para cada profundidade (Figura 14) mostra que a contribuição do P via serapilheira foi pequena, não sendo perceptível sua adição ao solo, talvez pelo curto tempo do experimento. Provavelmente, grande parte do P encontrado na área em estudo seja proveniente de intemperismo de rochas fosfatadas. Stevenson e Cole (1999) relatam que apesar de existirem na natureza mais de 200 minerais de P, apenas o grupo das apatitas tem significado quantitativo.

<sup>10</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as profundidades pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Galvani et al. (2004) relatam que a maioria dos solos brasileiros são deficientes em P. Novais et al. (2007) citam que em geral a concentração do P na solução do solo é baixa.

Apesar dos baixos níveis de P no solo para o presente trabalho, é provável que exista P imobilizado na microbiota do solo e provavelmente a adsorção do P na superfície de oxihidróxidos de Fe e Al deve ser baixa (GEBRIM et al., 2004) devido ao pH do solo estudado está próximo da faixa da neutralidade. Duda (2000) observou que a disponibilidade de P no solo é influenciada pelos fenômenos de adsorção, precipitação do fósforo inorgânico (Pi) e mineralização do fósforo orgânico (Po). Segundo Moreira e Siqueira (2006), aproximadamente 50% do fósforo (P) na biosfera encontram-se em formas orgânicas. Os teores de Po nos solos são bastantes variáveis, de 15 a 80%. As maiores porções de Po são observados para solos orgânicos ou horizontes ricos em matéria orgânica. Em solos tropicais sob diferentes usos, a participação do Po para o P total variou de 16 a 65% (NZIGUHEBA & BUNEMANN, 2005). Na camada superficial de solos sob Cerrado, a contribuição variou de 21 a 34% (NEUFELDT et al., 2000). Em solos sob caatinga na região Nordeste, a contribuição foi de 22%, em um Latossolo muito argiloso sob floresta amazônica chegou a 65% (LEHMANN et al., 2001).

Nogueira et al. (2008) avaliando as formas de fósforo em sistemas agroflorestais comparados o com convencional, observaram que o aporte e a manutenção de serapilheira nos sistemas agroflorestais proporcionaram uma maior concentração de P no solo, além disso, estes sistemas favoreceram a ciclagem deste elemento através do reservatório de Po no solo. Muzilli (1985) um dos pioneiros em plantio direto, avaliando a fertilidade do solo nesse sistema, constatou diferenças significativas quanto ao acúmulo de nutrientes no sistema de plantio direto e convencional. Entre os nutrientes avaliados, o P apresentou altos teores, sendo quatro a sete vezes superiores aos encontrados no preparo convencional na camada de 0-5 cm.

No entanto, o estudo da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Fósforo (P) do solo (Tabela 5) permite a observação significativa do P entre os diferentes níveis de serapilheira para os períodos de setembro/2009 e fevereiro/2010 pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tabela 5 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Fósforo (P) ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.

Nível de Serapilheira	Época			Média
	Fev. 2009	Set. 2009	Fev. 2010	
0%	3,75 aA	3,50 abA	4,00 abA	3,75 a
20%	3,25 aA	3,25bA	3,25 abA	3,25 a
40%	4,38aA	3,50 abA	4,75 aA	4,21 a
60%	3,75 aA	3,50 abA	4,75 aA	4,00 a
80%	4,63 aAB	5,13 aA	3,63 abB	4,46 a
100%	3,50 aA	4,00 abA	2,75 bA	3,42 a
Média	3,88 A	3,81 A	3,85 A	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V. (%) Nível de Serapilheira: 38,95; C.V. (%) Época: 28,30.

De modo geral, as três épocas em estudo não apresentaram informações tão conclusivas. As médias de P nesses períodos não foram significativas entre si, assim como para as médias dos níveis de serapilheira dos três períodos estudados, porém no período de setembro/2009 foi verificada a maior concentração de P no nível de serapilheira no nível 80%. O presente trabalho revelou valores elevados de Ca e pH próximo a neutralidade, segundo o manual de recomendação de adubação e calagem para o Estado do Ceará (CEARÁ, 1993) (Tabela 3), o que possibilita a redução do P adsorvido no solo e conseqüentemente maior disponibilidade do P na solução (SOUSA, 2005). Isso não foi perceptível para o presente trabalho devido aos baixos teores de P no solo avaliado. Fialho et al. (2006) avaliando os atributos químicos do solo em área de mata nativa e área cultivada com bananeira com uso de corretivos agrícolas, observou que em área de bananeira devido ao uso de corretivos, o Ca e o pH do solo foram elevados, o que possibilitou provavelmente a maior disponibilidade P na solução do solo.

#### 4.2.3 Potássio (K)

O desdobramento da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Potássio (K) do solo (Figura 15), evidencia que não houve diferença significativa do K entre os níveis de serapilheira para cada profundidade. Entretanto, houve diferença significativa entre as duas profundidades em estudo ( $P < 0,05$ ).

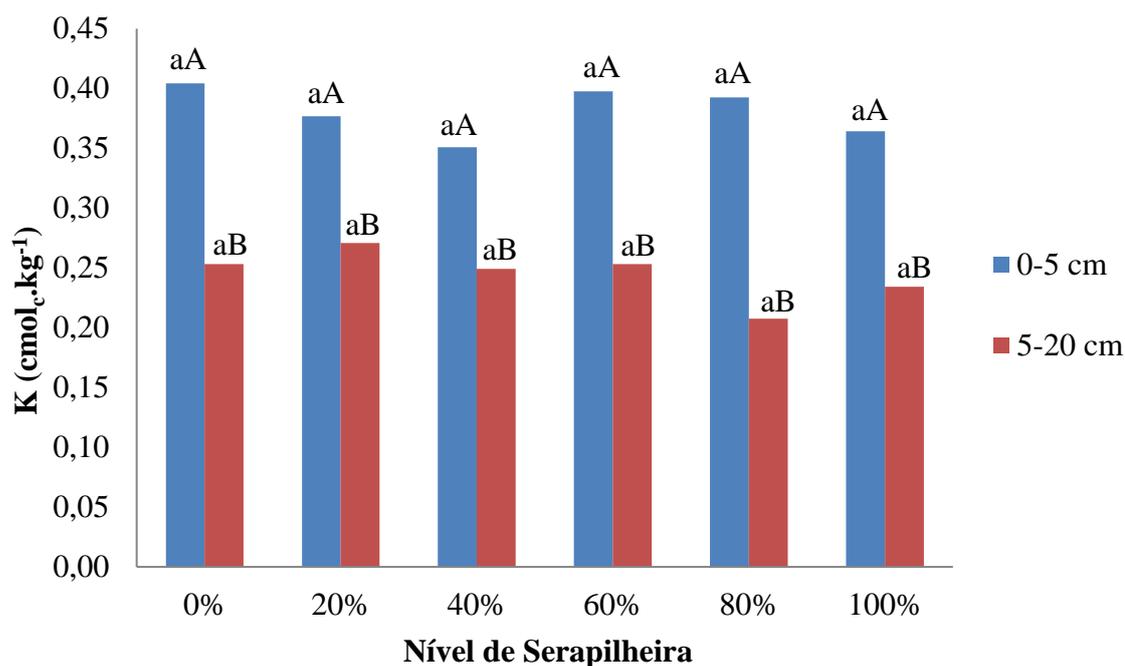


Figura 15 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Potássio (K) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>11</sup>.

O K na camada de 0-5 cm apresentou valores entre 0,35 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de solo para o nível de serapilheira 40% a 0,40 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de solo para o nível serapilheira 60% que apresentou o maior teor de K. Esses níveis foram superiores a camada de 5-20 cm que apresentou valores entre 0,21 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de solo para o nível 80% a 0,27 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de solo para o nível 20%. Segundo Novais et al. (2007), a concentração de K em resíduos orgânicos é pequena, aproximadamente 2% e muito variável, principalmente dependente do estágio de decomposição dos resíduos e da forma como foram armazenados no solo. Devido a isso, a contribuição da serapilheira na liberação do K não tenha sido significativa para o presente trabalho. No entanto, essa elevação do K na camada superficial do solo do presente trabalho é resultado provavelmente da presença de micas e feldspatos encontrados nas frações grosseiras do solo, esses minerais podem representar importantes fontes de K. Essa observação também foi confirmada por Mota (2004) e Fialho (2005) ao estudarem o teor de K na camada superficial do solo.

<sup>11</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as profundidades pelo teste de Tukey (P < 0,05).

As principais fontes naturais de K no solo provêm do intemperismo químico dos minerais (NOVAIS et al., 2007). Aproximadamente 98% do K do solo são encontrados nas estruturas dos minerais primários e secundários, apenas uma pequena fração encontra-se prontamente disponível para as plantas, seja ligado às cargas elétricas negativas (K trocável) ou na solução do solo (K solução) (SPARKS, 2000).

Diferentes de outros nutrientes, como o N e o P, o teor de K na matéria orgânica do solo é extremamente pequeno. O K não faz parte de nenhuma fração orgânica abiótica do solo, pois não integra nenhum composto orgânico estável (NOVAIS, et al. 2007). Silva e Ritchey (1982) verificaram que o K foi lavado da parte aérea das plantas de milho pela água da chuva ao entrarem em senescência, sendo perdido da sua constituição para o solo.

Entretanto, avaliando o estudo da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor Potássio (K) do solo (Figura 16), observa-se que não houve diferença significativa do K entre os níveis de serapilheira para cada época e entre épocas em estudo pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

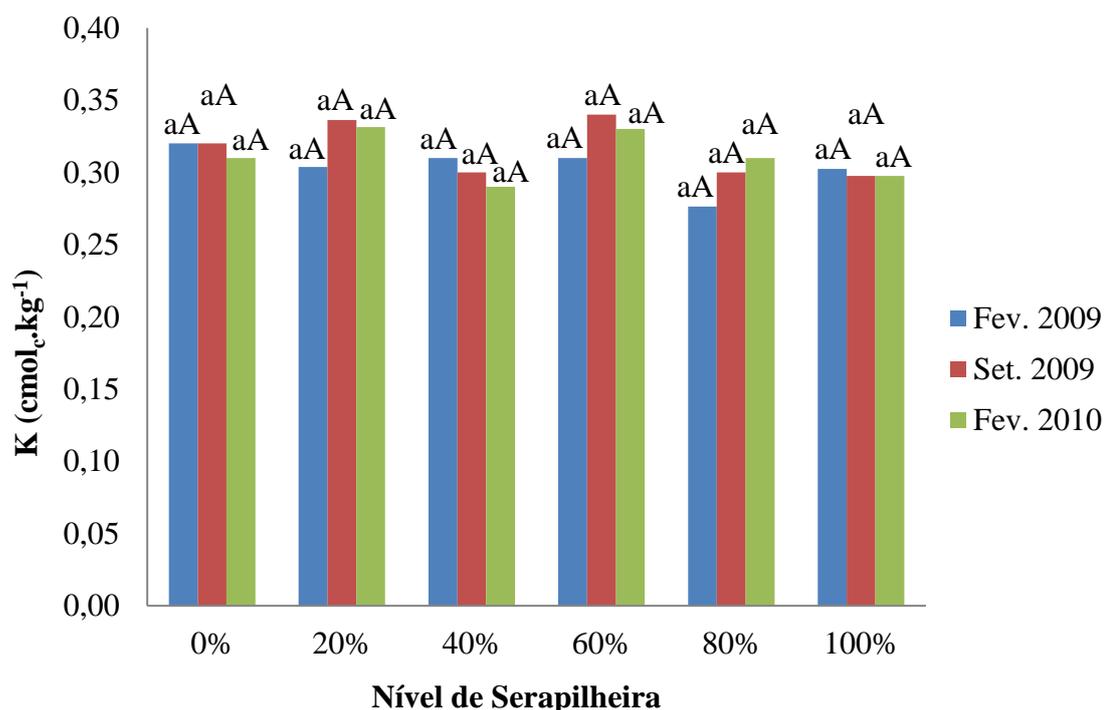


Figura 16 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Potássio (K) do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Os teores de K em setembro/2009 foram maiores nos níveis de serapilheira 20% e 60%. A diferença não significativa entre as três épocas em estudo pode ser atribuída segundo Novais et al. (2007) à lenta liberação do K das frações grosseiras de micas e feldspatos da composição do solo, pois eles são pouco solúveis e dependem principalmente da granulometria do material e da acidez do solo. Quanto a acidez do solo, a liberação do K para o presente estudo pode ter sido comprometida devido o pH apresentar valores próximos a neutralidade.

Resende et al. (2006) trabalhando com rochas moídas como fonte de potássio para o milho em solo de cerrado, observaram que elas funcionam como fertilizantes de liberação lenta, e a metade do K nelas contidas foram liberadas. Observaram que o processo de moagem permitiu o melhor contato das partículas minerais com o solo, facilitando a liberação do K.

#### 4.2.4 Cálcio (Ca)

A análise da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor do Cálcio (Ca) do solo (Tabela 6), indica que houve diferença significativa do teor de Ca entre os níveis de serapilheira para cada profundidade e entre as duas profundidades avaliadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tabela 6 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor do Cálcio (Ca) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) do solo de área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.

Nível de Serapilheira	Profundidade (cm)		Média
	0 - 5	5 - 20	
0%	5,92 bcA	5,97 bcA	5,94 bc
20%	6,43 abcA	5,18 cB	5,80 c
40%	5,18 cB	6,31 abcA	5,74 c
60%	5,87 cA	5,83 bcA	5,85 c
80%	7,48abA	7,73 aA	7,60 a
100%	7,73aA	6,97 abA	7,35 ab
Média	6,43 A	6,33 A	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V. (%) Nível de Serapilheira: 24,18; C.V. (%) Profundidade: 14,70.

Tanto na profundidade de 0-5 cm, quanto na profundidade de 5-20 cm os maiores teores de Ca foram observados nos níveis de 100% e 80%, respectivamente. No entanto, o nível 100% na camada de 0-5 cm, não apresentou diferença significativa entre os níveis 20% e 80%, diferindo para os demais. Já na camada de 5-20 cm, o tratamento 80% não diferiu estatisticamente do tratamento 40% e 100%, diferindo dos demais. Observa-se que na profundidade 0-5 cm, o tratamento 80% não diferiu do tratamento controle e a análise química inicial antes da instalação do experimento (Tabela 2) já revelava altos teores de Ca, entretanto, conclui-se que grande quantidade do Ca presente no solo deve estar associada ao material de origem, e a serapilheira deve ter contribuído de forma quantitativa para a elevação do teor do Ca em alguns níveis, principalmente nos níveis 80 e 100% para as duas profundidades avaliadas.

De acordo com o manual de recomendação de adubação e calagem para o Estado do Ceará (CEARÁ, 1993) (Tabela 3), os teores de Ca do presente estudo são considerados altos para os níveis de fertilidade do solo. Os altos valores de Ca e Mg (Tabelas 6 e 8) observados para o presente trabalho, é um bom indicativo para a reabilitação da área degradada em estudo, esses nutrientes são essenciais às plantas, quando aplicado na forma de corretivos agrícolas favorece a elevação da CTC, diminui ou elimina a toxidez do  $Al^{3+}$ ,  $H^+$  e  $Mn^{2+}$ , possibilitando maior crescimento do sistema radicular das plantas. Além disso, aumenta a atividade biológica, principalmente a fixação biológica do  $N_2$  e a associação dos FMA (Figura 10), além de promover uma maior mineralização da matéria orgânica (NOVAIS et al., 2007).

Alves et al. (2008), trabalhando na reabilitação de área degradada devido a construção de uma hidroelétrica, utilizando adubação verde e corretivos agrícolas, observaram elevados teores de Ca na camada superfície do solo o que favoreceu a elevação da CTC e neutralização do  $Al^{3+}$ . Resultados semelhantes também foram observados por Alcantara et al. (2000) e Franchini et al. (2003).

Portanto, a liberação do Ca após a mineralização da serapilheira não chegou a influenciar estatisticamente, porém influenciou quantitativamente na concentração desse nutriente no solo, principalmente nos níveis de serapilheira 80 e 100% para as duas profundidades estudadas.

Entretanto, verificando a análise da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor do Cálcio (Ca) do solo (Tabela 7), mostra que houve diferença significativa do Ca para os diferentes níveis de serapilheira para cada época e entre épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tabela 7 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor do Cálcio (Ca) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.

Nível de Serapilheira	Época			Média
	Fev. 2009	Set. 2009	Fev. 2010	
0%	5,41 bB	6,74 abA	5,68 bAB	5,94 bc
20%	5,58 bB	6,94abA	4,89 bB	5,80 c
40%	5,50bA	5,66 bA	6,06 bA	5,74 c
60%	5,19 bA	6,09 bA	6,28 bA	5,85 c
80%	6,53 abB	8,23 aA	8,06 aA	7,60 a
100%	7,58 aAB	7,90 aA	6,58 abB	7,35 ab
Média	5,96 B	6,93 A	6,26 B	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V. (%) Nível de Serapilheira: 24,18; C.V. (%) Época: 14,99.

A maior concentração do Ca foi observada na segunda época em estudo (setembro/2009) nos níveis de serapilheira 80% e 100%, respectivamente e no período de fevereiro/2010 no nível de serapilheira 80%. Em setembro/2009, os níveis de 80% e 100% de serapilheira não diferiram do tratamento controle e do nível 20%, diferindo do nível 40% e 60%. Para o período de fevereiro/2010, o nível de serapilheira 80% não diferiu do nível 100%, diferindo para os demais. No entanto, as médias do período de fevereiro/2009 e fevereiro/2010 não diferiram entre si, diferindo do período de setembro/2009 ( $P < 0,05$ ). Na Tabela 7, observa-se que houve um pequeno acréscimo na média do teor de Ca na segunda época (setembro/2009) em estudo, isso deve ter acontecido provavelmente devido a maior mineralização da serapilheira.

Alcântara et al. (2000) estudando a adubação verde na reabilitação de um Latossolo degradado, verificaram que nas parcelas onde a biomassa dos adubos verdes não foi incorporada, o teor de Ca foi maior na profundidade de 0-5 cm devido a maior mineralização dos resíduos vegetais na superfície do solo. Resultados semelhantes foram observados por Alves et al. (2008), trabalhando com em área degradada e adubação verde.

#### 4.2.5 Magnésio (Mg)

A análise da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Mg do solo (Tabela 8), mostra que houve diferença significativa do Mg entre os diferentes níveis de serapilheira para cada profundidade e para as profundidades analisadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tabela 8 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o teor de Magnésio (Mg) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.

Nível de Serapilheira	Profundidade (cm)		Média
	0 - 5	5 - 20	
0%	5,40 abA	5,77 cA	5,58 bc
20%	4,43 cB	6,36 bcA	5,40 c
40%	5,54 abB	6,26 cA	5,90 bc
60%	5,32 abcB	6,26 cA	5,79 bc
80%	6,24 aB	7,35 aA	6,80 a
100%	5,20 bcB	7,30 abA	6,25 ab
Média	5,36 B	6,55 A	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V. (%) Nível de Serapilheira: 15,07; C.V. (%) Profundidade: 10,42.

Diferente do observado para os outros nutrientes, a maior concentração de Mg foi verificada na profundidade de 5-20 cm, e o nível 80% de serapilheira apresentou maior teor de Mg. Segundo Fernandes (2006), o Mg não é adsorvido tão fortemente pelas argilas e pela matéria orgânica, sendo conseqüentemente lixiviado para camadas inferiores. Relata também, que altos teores de Mg pode causar deficiência de K, isso pode ter sido a causa da deficiência desse nutriente para o presente estudo. De acordo com Mello et al. (1987), solo com presença de minerais com Mg, pode superar os teores de Ca, provavelmente foi o que aconteceu na camada de 5-20 cm para esses nutrientes (Tabela 8 e Tabela 6).

O nível 80% de serapilheira para essa camada apresentou diferença significativa em relação a todos os níveis, exceto para o nível 100%. No entanto, verifica-se que na camada de 0-5 cm o maior valor de Mg foi observado no nível 80% de serapilheira. O nível 80% apresentou diferença significativa do nível 20% e 100%. Entretanto, percebe-se que a mineralização da serapilheira não contribuiu de forma perceptível na adição do

Mg ao solo, provavelmente grande parte do Mg do solo nesse estudo, deve ser do seu material de origem (Tabela 2).

Alves et al. (2008) trabalhando na reabilitação de área degradada com objetivo de recompor a fertilidade do solo por meio da adubação verde, não observaram diferenças significativas da adição do Mg e de outros nutrientes no primeiro ano, porém após quatro anos com uso da adubação verde, verificaram diferenças significativamente maiores comparada ao início do estudo.

No entanto, a análise da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Magnésio (Mg) do solo (Tabela 9), indica que houve diferença significativa do teor de Mg entre os diferentes níveis de serapilheira para os períodos de setembro/2009 e fevereiro/2010 e entre as épocas em estudo, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tabela 9 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o teor de Magnésio (Mg) ( $\text{cmolc.kg}^{-1}$ ) do solo em área degradada do Município de General Sampaio - CE, 2010.

Nível de Serapilheira	Época			Média
	Fev. 2009	Set. 2009	Fev. 2010	
0%	5,64 aAB	6,18 abA	4,94 cB	5,58 bc
20%	5,46 aA	5,16bA	5,56 bcA	5,40 c
40%	5,66aA	6,16 abA	5,88 bcA	5,90 bc
60%	5,51 aA	6,10 abA	5,75 bcA	5,79 bc
80%	6,04 aB	6,99 aA	7,36 aA	6,80 a
100%	6,01 aA	6,00 abA	6,74 abA	6,25 ab
Média	5,72 A	6,10 A	6,04 A	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V. (%) Nível de Serapilheira: 15,07; C.V. (%) Época: 13,08.

Tanto em setembro/2009 quanto em fevereiro/2010, a maior concentração de Mg foi observada no nível 80% de serapilheira. Em setembro/2009, o nível 80% diferiu apenas do nível 20%. Entretanto, na última época em estudo (fevereiro/2010), o nível 80% apresentou diferença significativa entre todos os níveis, exceto para o nível 100%. Entretanto, percebe-se que a mineralização da serapilheira não contribuiu de forma perceptível na adição do Mg ao solo, provavelmente grande parte do Mg do solo em estudo, deve ser do seu material de origem.

Rodrigues et al. (2007), estudando a dinâmica da reabilitação do solo em áreas degradadas dentro do bioma Cerrado, observaram que as coberturas vegetais utilizadas

não modificaram os atributos químicos do solo a curto prazo. Testa et al. (1992), observaram que a contribuição para a elevação dos teores de nutrientes do solo via resíduos orgânicos é verificada a longo prazo. Silva et al. (2002) estudando a reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo, confirmam essas informações.

#### 4.2.6 pH

A análise da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o pH do solo (Figura 17), permite a observação não significativa do pH entre os níveis de serapilheira em cada profundidade, porém, houve diferença entre as duas profundidades pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

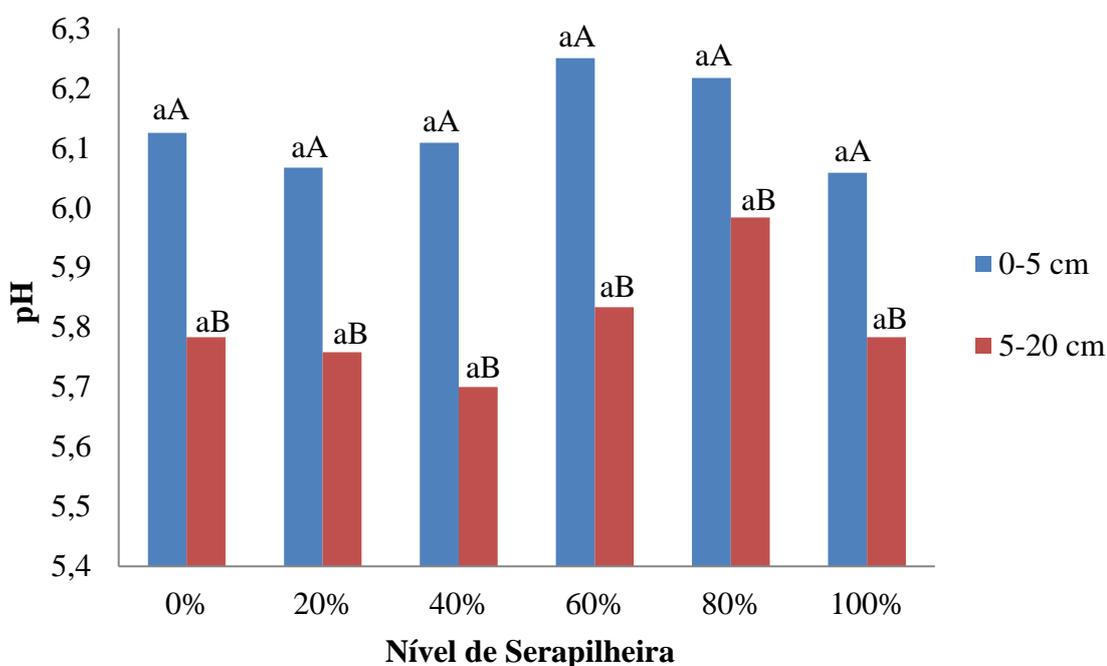


Figura 17 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Profundidade sobre o pH do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>13</sup>.

O pH do solo da profundidade de 0-5 cm variou entre 6,1, para os níveis 20% e 100%, a 6,3 para o nível 60% de serapilheira, sendo superiores à profundidade de 5-20 cm que apresentou valores entre 5,7 para o nível 40% a 6,0 para o nível 80% de

<sup>13</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as profundidades pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

serapilheira. A faixa ideal de pH para o bom crescimento e desenvolvimento para a maioria das culturas está entre 5,5 a 6,3, pois nesse intervalo, as plantas têm boas condições de absorção de água e nutrientes (NOVAIS et al., 2007).

Malavolta (1985) comprovou o efeito direto do pH do solo sobre plantas de tomateiro, alface e grama bermuda, concluindo que: 1) as plantas morreram ou apresentaram acentuada diminuição do crescimento em valores extremos de pH (muito baixo ou elevado); 2) pH 4,0, o Ca estimulou a absorção do K, e diminuiu a competição com demais cátions do solo; 3) pH 3,0, a absorção de macronutrientes caiu drasticamente; 4) pH 9,0, houve acentuada queda na absorção de P; 5) concluindo que o melhor desenvolvimento das plantas em estudo foram observados com valores de pH entre 6,0 a 7,0.

O aporte da serapilheira em área degradada, associada ao pH desejável para o desenvolvimento das plantas, além de elevados teores de Ca e Mg, podem efetivamente ser um parâmetro importante na reabilitação dessa área, pois estes favoreceram a atividade microbiana, a mineralização dos resíduos orgânicos e, conseqüentemente, a liberação de nutrientes para o solo, além do estabelecimento de plantas oriundas do aporte de sementes provenientes da serapilheira.

Entretanto, pela análise da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o pH do solo (Figura 18), mostra que não houve diferença significativa do pH para os diferentes níveis de serapilheira em cada época, porém houve entre as épocas do estudo pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Dentre os três períodos testados, somente o último (fevereiro/2010) apresentou menor valor de pH, e o nível 20% verificou o menor pH nesse período, isso aconteceu provavelmente pela maior mineralização da serapilheira. De acordo com Novais et al. (2007), a mineralização de resíduos contribui para a acidez no solo, pela ionização do hidrogênio de ácidos carboxílicos, fenólicos e principalmente de álcoois terciário. Deve-se salientar que o  $H^+$  está sendo continuamente produzido no solo como resultado da mineralização de compostos orgânicos com produção de  $CO_2$  e do intemperismo dos silicatos que libera  $Al^{3+}$  em solução que pode deixar o solo ácido (SOUSA et al., 2007).

A variação do pH ao longo do período de avaliação do experimento pode ter sido influenciado pela precipitação, mineralização da serapilheira e posteriormente pelo estabelecimento de plantas nativas oriundas da germinação das sementes presentes na serapilheira aportada. De acordo com Ciotta et al. (2002), o plantio direto favoreceu a acidificação na camada superficial do solo, possivelmente devido ao efeito da

mineralização da matéria orgânica associada a aplicação de fertilizantes sem reaplicação do calcário. Esses autores usaram como base comparativa área de plantio convencional.

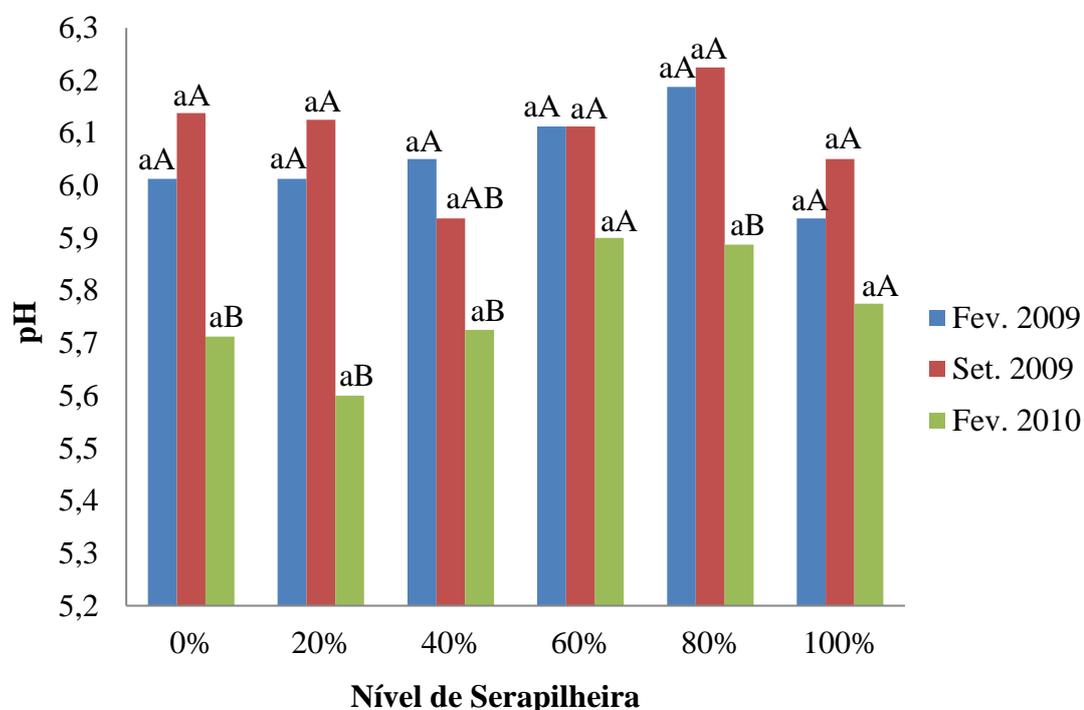


Figura 18 – Efeito da interação Nível de Serapilheira x Época sobre o pH do solo em área degradada do Município de General Sampaio, CE<sup>14</sup>.

Portanto, o aporte da serapilheira contribuiu para a introdução de sementes e conseqüentemente para o estabelecimento da biodiversidade de plantas nativas, modificou parcialmente os atributos microbiológicos do solo, mas não os atributos químicos, sendo necessário avaliá-los a médio e longo prazo.

<sup>14</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre cada nível de serapilheira e da mesma letra maiúscula não diferem entre as épocas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## 5 CONCLUSÕES

1. A RBS apresentou maior concentração relacionada ao período chuvoso, mostrou que durante o período seco do ano a atividade microbiana é reduzida, e conseqüentemente a nutrição da vegetação via aporte de serapilheira é comprometida para a reabilitação de áreas degradadas.
2. Os níveis de serapilheira 80% e 100% contribuíram positivamente para a elevação do CBM e da densidade de esporos de FMA, além do menor  $qCO_2$ , sendo o tempo de exposição da serapilheira um fator que influenciou nos resultados.
3. O aporte da serapilheira contribuiu para a introdução de sementes e conseqüentemente para o estabelecimento de plantas nativas, modificando parcialmente os atributos microbiológicos do solo, mas não os atributos químicos, sendo necessário avaliá-los a médio e longo prazo.

**REFERÊNCIAS**

- ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, fev. 2000.
- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, 1995, p.464-470.
- ALLEN, A. S.; SCHLESINGER, W. H. Nutrient limitations to microbial biomass and activity in loblolly pine forests. **Soil Biology Biochemistry**, v.36, n.4, p.581-589, 2004.
- ALLEN, E.B.; ALLEN, M.F. Competition between plants of different successional stages: mycorrhizae as regulators. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.62, p.2625-2629, 1984.
- ALENCAR, G.V.; MENDONÇA, E.S.; OLIVEIRA, T.S.; JUCKSCH, I. Avaliação de sistemas de produção de plerículas orgânicos e convencionais no município de Guaraciaba do Norte-CE. In: MENDONÇA, E.S.; XAVIER, F.A.S.; LIBARDI, P.L.; ASSIS Jr., R.N.; OLIVEIRA, T.S.(Eds.) **Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semiárido nordestino**. Fortaleza: UFC, 2004. p.76-104.
- ALVAREZ, R.; DIAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. **Soil Till. Res.**, v.33,p.17-28, 1995.
- ALVES, M. C.; SOUSA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2505-2516, nov./dez.2008.

- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.10, n.3, p.215-221, 1978.
- ANDERSON, T. H. Physiological analysis of microbial communities in soil, applications and limitation. In: RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K. E. **Beyond the Biomass**. Wiley, Chichester, UK: British Soil Science Society, 1994, p.67-76.
- ANDRADE, G. Interacciones microbianas en la rizosfera. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Soilfertility, soilbiology, and plant nutrition interrelationships**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999, p.551-575.
- AQUINO, S. S.; CASSIOLATO, A. M. R. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares autóctones no crescimento de *Guazuma ulmifolia* em solo de serrado degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.37, n.12, p.1819-1823, dez. 2002.
- ASSIS JUNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M.C.M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.35-41, 2003.
- BARBER, S. A. **Soil nutriente bioavailability: A mechanistic approach**. New York, Wiley-Interscience, 1984, p.398.
- BARDGETT, R.D.; SAGGAR, S. Effects of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled glucose in a pasture soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.26, p.727-733, 1994.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: GENESIS, 1999. p.9-23.

- BLUM, W. E. H., Basic Concepts: Degradation, Resilience and Rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W. E. H., VALENTINE, C., STEWART, B.A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p.1-30.
- BORÉM, R.A.T.; RAMOS, D.P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **Cerne**, Lavras, v.8, n.2, p.42-59, 2002.
- BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biol. Biochem.**, v.14, p.319-326, 1982.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O. S.; MOREIRA, F. M. S; SOARES; A. L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.621-632, 2008.
- CASTELETI, C. H. M.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, L.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora da UFPE, 2003. p.719-734.
- CEARÁ. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Ciências do Solo. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. 1. ed. Fortaleza: UFC, 246p, 1993.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.26, p.1055-1064, 2002.
- CHIMNER, R.A. Soil respiration rates of tropical peatlands in Micronesia and Hawaii. **Wetlands**, Washington, v.24, n.1, p.51-56, 2004.

CORRÊA NETO, T. A.; PEREIRA, M.G.; CORREA, M.E.F.; ANJOS, L.H.C dos. Deposição de serrapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.70-75, 2001.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação da serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto alegre: Gênese, 1999. p. 97-225.

COSTA, A. C. **Hidrologia de uma bacia experimental em caatinga conservada no semiárido brasileiro**. 2007. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoques de carbono orgânico no solo e emissão de dióxidos de carbono influenciados por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.323-332, 2008.

DELLA BRUNA, E. Atividade da microbiota de solos adicionados de serapilheira de eucalipto e de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p. 15-20, 1991.

DRUMOND, M.A., KIILL, L.H.P., LIMA, P.C.F., OLIVEIRA, M.C., OLIVEIRA, V.R., ALBUQUERQUE, S.G., NASCIMENTO, C.E.S.; CAVALCANTE, J. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: SEMINÁRIO PARA AVALIAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE AÇÕES PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO, UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL E REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS DA BIODIVERSIDADE DO BIOMA CAATINGA. **Anais**. EMBRAPA/CPATSA, UFPE e Conservation International do Brasil, Petrolina. 2000.

DUDA, G. P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos**. 2000. 158f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

EMBRAPA; SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1625-1635, 2007.

FIALHO, J. S. **Indicadores da qualidade do solo em sistemas agrícolas anuais e perenes na Chapada do Apodi – CE**. 2005. 45f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2005.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S de.; SILVA JÚNIOR, J. M. T. da.; Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeira na Chapada do Apodi - CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.37, n.3, p. 250-257, 2006.

FIRME, L.P. **Cinética de degradação microbiológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel**. 2005. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 2005.

FLORES-AYLAS, W. W.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Efeito do *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.257-266, 2003.

FONTH, H. D.; ELLIS, B. G. **Soil fertility**. 2. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 290p.

FORTIN, J. A.; BÉCARD, G.; DECLERCK, S.; DALPÉ, Y.; ST-ARNAUD, M.; COUGHLAN, A.P.; PICHÉ, Y. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.80, p.1-20, 2002.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, p.2045-2058, 2003.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Degradação Ambiental e Susceptibilidade aos Processos de Desertificação na Microrregião do Médio Jaguaribe e Partes das Microrregiões do Baixo Jaguaribe e Serra do Pereiro - CE**. Fortaleza: Funceme, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; DE-POLLI, H. Biomassa na ciclagem de nutrientes. In: FERTIBIO 2000. Santa Maria, 2000. **Anais**. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

GALVANI, R. Fracionamento de fósforo inorgânico no solo em função de fontes de fósforo na soja cultivada em semeadura direta. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2004, Lages. **Anais**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

GERBRIM, F. O.; SILVA, I. R.; JESUS, G. L.; NOVAIS, R. F. Adsorção competitiva de ortofosfato e hexafosfato de inositol em Latossolos sob influência da calagem. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTA, 26., 2004, Lages. **Anais**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

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

GUTIÉRREZ, J.R.; SQUEO, F.A. Importancia de los arbustos em los ecosistemas semiáridas de Chile. **Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología e Meio Ambiente**, Alicante, ano 13, n. 1, abr./jun. 2004. Disponível em: <URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/041/investigacion2.htm>>. Acesso em 19 julho 2009.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: [s.n.], 1990.96 p.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Caatinga**. Disponível em: <[www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga.htm](http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga.htm)> Acesso em 21 de outubro de 2009.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v.27, n.4, p.408-416, 1998.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems Environment**, v.79, n.1, p.9-16, 2000.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology And Fertility of Soils**. v.27, p.408-416, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico municipal de General Sampaio - CE**, Fortaleza: IPECE, 2009.

JESUS, A. A. Ensaio de uso do sistema monitor sigindes no Núcleo de Desertificação de Gilbués – Piauí, 2006. 53f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2006.

LEHMANN, J.; GUNTHER, D.; MOTA, M. S.; ALMEIDA, M. P.; ZECH, W.; KAISER, K. Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrata agroforestry system. **Agroforestry Systems**, n.53, p.113-124, 2001.

- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, n.28, p.175-187, 2004.
- LUCA, E. F. **Matéria orgânica e atributos do solo em sistemas de colheitas com e sem queima da cana-de-açúcar**. 2002. 101f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2003.
- KIEFT, T.L.; ROSACKER, L.L. Application of respiration and adenylate-based soil microbiological assay to deep subsurface terrestrial sediments. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.6, p.563-568, 1991.
- KOLM, L. **Ciclagem de Nutrientes e variações do microclima em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden Manejadas através de desbastes progressivos**.2001. 73f.Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- KÖNIG, F.G.; SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; SELING, I. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decídua no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG v.26, n.4, p.429-435, 2002.
- MAIA, G. B. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: Leitura e Arte Editora, 2004. 413p.
- MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1., 1983, Piracicaba. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985.p.3-64.
- MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C. de; MIRANDA, L. N. Contribuição de Fungos Micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* kunth em

- áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.665-674, abr. 1999.
- MARTNS, C. M. **Atributos de solos e sua relação com o processo de desertificação no semiárido de Pernambuco**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- MASCHIO, L.; GAIAD, S.; MONTOYA, L.; CURCIO, G.R.; RACHWALL, M.F.G.; CAMARGO, C.M.S.; BATTI, A.M.B. Microrganismos e auto-sustentação de ecossistemas em solos alterados. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. Curitiba: UFPR; Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1992. p.440-445.
- MASON, C. F. **Decomposição**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980. 63p.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C. & LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.425-433, 2003.
- MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, A. Fertilidade do solo. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1987. 400p.
- MENDES, B.V. O Semiárido brasileiro. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992. São Paulo. **Anais**. São Paulo: [s.n.], 1992. p.394-399.
- MENDES FILHO, P. F. **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. 2004. 89f. Tese (Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos e análises**. Viçosa: UFV, 2005. p 107.

- MINHONI, M. T. A.; AULER, P. A. M. Efeito do fósforo, fumigação do substrato e fungo micorrízico arbuscular sobre o crescimento de plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.841-847, 2003.
- MIRANDA, J.C.C. & MIRANDA, L.N. **Produção de mudas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em viveiros**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. (Embrapa Cerrados. Recomendação técnica, 24)
- MIRANDA, J. C. C. Ocorrência de fungos endomicorrízicos nativos em um solo de Cerrado do Distrito Federal e sua influência na absorção de fósforo por *Brachiaria decumbens* Stapf. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.5, n.2, p.102-105, 1981.
- MONSON, R.K.; LIPSON, D.L.; BURNS, S.P.; TURNIPSEED, A.A.; DELANY, A.C.; WILLIAMS, M.W.; SCHMIDT, S.K. Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition. **Nature**, London, v.439, p.711-714, 2006.
- MONTAGNINI, F.; JORDAN, C.F. Reciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M.R.; KATTAN, G.H. (Eds.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, 2002. p.167-191.
- MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, n.28, p.819-826, 2004.
- MORAES, R. M.; DELITTI, W. B. C.; RINALDI, M. C. S.; REBELO, C. F. Ciclagem mineral em Mata Atlântica de encosta e mata sobre restinga, Ilha do Cardoso, SP: nutrientes na serapilheira acumulada. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1998, Águas de Lindóia. **Anais**. Águas de Lindóia: ACIESP, 1998. p.71-77.

- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- MOREIRA, P.R.; SILVA, O.A. da. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.49-59, 2004.
- MOTA, J. C. A. **Caracterização física, química e mineralógica, como suporte para o manejo dos principais solos explorados com a cultura de melão na Chapada do Apodi - RN**. 2004. 96f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.
- NEUFELD, H.; SILVA, J. E.; AYARZA, M. A.; ZECH, W. Land-use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. **Biology And Fertility of Soils**, n.31, p.30-37, 2000.
- NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Interações microbianas na disponibilidade e absorção de manganês por soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.11, p.1605-1612, 2002.
- NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S. de; MENDONÇA, E. S.; FILHO, J. A. A. Formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órticosob sistemas agroflorestais no município de Sobral/CE. **Revista Ciências Agrônômica**, Fortaleza, v.39, n.4 p.494-502, out./dez. 2008.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007, 1017p.
- NZIGUHEBA, G.; BUNEMANN, E. **Organic phosphorus dynamics in tropical agroecosystems**. Wallingford: CAB Internacional, p. 243-268, 2005.
- OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.863-871, 2001.

- OLIVEIRA, T. K. de; FURTADO, S. C.; MACEDO, R. L. G. Manejo da Fertilidade do Solo em Sistemas Agroflorestais. In: WADT, P. G. S. (Ed.) **Recomendações para adubação e manejo da fertilidade do solo no Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002.
- OTUTUMI, A. T. **Qualidade do solo em sistemas de cultivo agroecológicos no município de Tauá-CE**. 2003. 54f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- PEÑA, M. L. P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; ANJOS, A. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.35, n.1, p. 117-127, jan./abr. 2005.
- RESENDE, A. V. de; MACHADO, C. T. T.; MARTINS, E. S.; NASCIMENTO, M. T.; SENA, M. C. de; SILVA, L. C. R.; LINHARES, N. W. Rochas moídas como fontes de potássio para o milho em solo de cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2006. 19 p. Embrapa Cerrado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 162.
- RIBEIRO, K. A. **Propriedades químicas, físicas e biológicas do solo influenciadas por sistemas de manejo na cultura do cajueiro anão-precoce no Ceará**. 2003. 52f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- RODRIGUES, G.B.; MALTONI, K.L. & CASSIOLATO, A.M.R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, PB, v.11, p.73-80, 2007.
- SAFFIGNA, P. G.; POWLSON, D.S.; BROOKES, P. C.; THOMAS, G. A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertissol. **Soil Biology & Biochemistry**, v.21, p.759-765, 1989.

- SANTOS, S. L. dos; VÁLIO, I. F. M. Litter accumulation and its effect on seedling recruitment in a southeast Brazilian Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, v.25, n.1, p.89-92, 2002.
- SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999.
- SAVIN, M. C.; GÖRRES, J.H.; NEHER, D. A.; AMADOR, J. A. Bio geophysical factor sinfluencing soil respiration and mineral nitrogen content in an old field soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, n.4-5, p.429-438, 2001.
- SCHIAVO, J. A.; MARTINS, M. A. Produção de mudas de goiabeira (*Psidiumguajava* L.), inoculadas com fungo micorrízico arbuscular *Glomusclarum*, em substrato agro-industrial. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v.24, n.2, p.519-523, 2002.
- SENA, J. O. A.; LABATE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Caracterização fisiológica da redução de crescimento de mudas de citros micorrizadas em altas doses de fósforo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.827-832, 2004.
- SHENCK, N.C.; PEREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizalfungi**. 2nd ed. Gainesville: International Culture Collection of VA Mycorrhizal Fungi; University of Florida, 1988. 241p.
- SILVA, E. A. da; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.32, n.2, p.323-333, 2008.
- SILVA, F. de A. S. e ; Azevedo, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLDCONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., 2009, Reno, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

- SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 2006. Orlando, USA. **Anais**. Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.
- SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4,n.1,p.71-78,2002.
- SILVA, J. A. A.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S. & SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de Laranjeira - 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v.24, p. 225-230, 2002.
- SILVA, J. E.; RITCHEY, K. D. Acumulação diferencial de potássio em óxissolos devido a lavagem do nutriente das plantas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.6, p.183-188, 1982.
- SILVA, M. B. da; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. da; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.12, p.1755-1761, dez. 2007.
- SILVA, W. M. da; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FERRI, M.; WELLINGTON de MAGALHÃES, W. A. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, v.2, n.6, p.33-46, out./dez. 2009.
- SOMBROEK, W.; SENE, E.H. **Land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas**: Rainfed and irrigated lands, rangelands and woodlands. Disponível em <[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/X5308E/X5308E00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/X5308E/X5308E00.htm)> Acesso em 12 julho de 2009.

- SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba, Brasil.** 2006. 146f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.
- SOUZA, J.A.; DAVIDE, A.C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Viçosa, v.7, n.1, p.101-113, 2001.
- SOUZA, R. F. Calagem e adubação orgânica: Influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Lavras, MG, v.30, p.975-983, 2006.
- SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labeled cells. **Soil Biology Biochemistry**, v.20, n.3, p.337-343, 1988.
- SPARKS, D. L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M. E., ed. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000.
- STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.** 2.ed. New York: Wiles & Sons, 1999. 427p.
- TEIXEIRA, L. A. J.; TESTA, V. M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, n.18, p.207-214, 1994.
- TESTA, U.M.; TEIXEIRA, L.A.J. & MIELNICZUCK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.16, p.107-114, 1992.
- THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; MOURÃO, M. J. Carbono da biomassa microbiana e micorrizada em solo sob mata nativa e

- agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.25 n.1, p.147-153, 2003.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, 2002. p. 195-276.
- TOKURA; A. M.; NETO, A. E. F.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.10, p.1467-1476, out. 2002.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Departamento de Ciências do Solo. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 246 p.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.
- VANHALA, P. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, n.10, p.1375-1379, 2002.
- VARGAS, L. K.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. Alterações microbianas no solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.749-755, 2004.
- VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, p.35-42, 2000.
- WADT, P. G. S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. 29 p. (Embrapa Acre. Documentos, 90).

WAQUIL, P. D. Pobreza rural e degradação ambiental: uma refutação da hipótese do círculo vicioso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. v.42 n.2. Brasília, abr./jun 2004.