

INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS  
ANUAIS E PERENES NA CHAPADA DO APODI - CEARÁ

JAMILI SILVA FIALHO

MARÇO - 2005  
FORTALEZA - CEARÁ  
BRASIL

INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS  
ANUAIS E PERENES NA CHAPADA DO APODI - CEARÁ

JAMILI SILVA FIALHO

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 grau de Mestre.

MARÇO - 2005  
FORTALEZA - CEARÁ  
BRASIL

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará. Uma via do presente estudo encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Ciência e Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Jamili Silva Fialho

Dissertação Aprovada em 16/03/2005

---

Profa. Vânia Felipe Freire Gomes – Doutora  
(Orientadora)

---

Prof. Teógenes Senna de Oliveira – Doutor  
(Co-orientador)

---

Prof. Eduardo de Sá Mendonça – Ph. D.  
(Conselheiro)

*Aos que fazem da pesquisa uma realidade  
alcançável e agradável.*

**Dedico.**

*Ao Verdadeiro Amor por me permitir  
amar de todo coração, alma e entendimento.*

**Ofereço.**

*“Nunca se esqueça de que você deve ser autor da sua história. Gerencie seus pensamentos, administre sua emoção, duvide da sua incapacidade, questione sua fragilidade, veja as coisas por múltiplos ângulos”.*

**Augusto Jorge Cury**

## AGRADECIMENTOS

‡ A Cristo, pela vida, amor, paciência e capacitação para amadurecer com mais essa batalha;

‡ Às Universidades Federais do Ceará e de Viçosa, por tornarem possível a conquista dessa qualificação profissional;

‡ Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo;

‡ À Profa. Vânia Felipe Freire Gomes, pela orientação ímpar que se estendeu a um agradável e precioso convívio, por me incentivar e fazer acreditar em meu potencial e por humanizar o ensino;

‡ Ao Prof. Teógenes Senna de Oliveira, por ser um visionário, pelo exemplo de luta em prol da pesquisa e pelo incentivo;

‡ Ao Prof. Eduardo de Sá Mendonça, pelo apoio durante a minha estada em Viçosa e sugestões valiosas à este trabalho;

‡ Aos Profs. do Departamento de Ciência do Solo, pelo agradável ambiente de estudos e meios colocados à disposição;

‡ À Profa. Maria Catarina, pelo apoio junto as análises enzimáticas e sobretudo pela receptividade e acessibilidade singulares;

‡ Ao Prof. Paulo Cecom, pelas sugestões valiosas quanto a análise estatística dos dados e pela receptividade;

‡ Ao Programa de Cooperação Acadêmica (PROCAD CAPES/UFC/UFV/ESALQ), pela viabilização de minha ida à Viçosa e pelo convívio com professores de outras universidades;

‡ Aos Srs. João Teixeira e Dagoberto Faedo, proprietários, respectivamente, das fazendas agrícolas Frutacor e Faedo, pela parceria que resultou nesta pesquisa;

‡ Aos Laboratoristas Aldo Cirino e Brás Júlio, pelo agradável, marcante e precioso convívio, pelas experiências de vida compartilhadas e pela amizade;

‡ Aos amigos do curso de Pós-Graduação: Janayna Queiroz, Sammy Sidney, Jorge Luiz Amaya, Noel Matos, Joana Dantas, Joedna Cruz, Wanderson Lobo e Aldo Trindade, pelo

convívio ímpar, pelo incentivo mútuo, pela amizade conquistada e pelo acréscimo das peculiaridades individuais (Deus nos abençoe!);

‡ Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia: Célio Araújo, Jaedson Mota, Wagner Silva, Adriana Otutumi, Kátia Ribeiro, Alisson Xavier, Arilene Chaves, Cícero Terceiro, Elibernon Alves, Reinaldo Leal, Stoécio Malta, Valmório Souza, Herdjânia Lima, Ana Maria Maia e os demais, por tornarem esse período mais agradável e pelos exemplos de vida;

‡ Aos amigos Grasiely e Evaldo Tavares; pela amizade estreitada em Viçosa, pelo apoio, pela receptividade, pelo incentivo e pelo acolhimento estendido à Profa. Vânia Freire e à Joana Dantas;

‡ Aos amigos de práticas laboratoriais: José Maria Júnior, Wanderlúcia Rodrigues e João Filho, pelas ajudas nas análises, pelo crescimento mútuo e agradável convívio;

‡ Aos servidores técnico-administrativos da UFC, através do Departamento de Ciência do Solo, e da FUNCEME, pelo convívio e companheirismo neste período de estudos;

‡ Aos servidores técnico-administrativos da UFV, através do Departamento de Solos e do Laboratório de Matéria Orgânica, pela receptividade e convívio;

‡ Aos colegas conquistados em Viçosa: Eddi, Beno, Rodrigo, Eulene, Carol, Patrícia, Eduardos, Bruno, Paulo, Henrique, Mariana, Letúzia, Júlio, D. Maria, Pedro Lélis, Luciano, Marcos e família; pela camaradagem, ajuda e receptividade;

‡ Aos meus pais, irmãs e agregados, por serem meu “porto seguro”, por acreditarem em mim e pela paciência, atestados do verdadeiro amor;

‡ À minha família, especialmente Lúcia Freitas, Gênova Freitas, Márcio Caldeira e Salete Freitas, pelo incentivo, apoio e credibilidade,

‡ Ao condescendente Éder Lima, pela credibilidade ímpar, pelo incentivo singular e pela dedicação única;

‡ A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Contextualização do problema.....	3
2.2. Uso de indicadores biológicos na avaliação da qualidade do solo.....	4
2.3. Biomassa Microbiana (BM).....	5
2.3.1. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	6
2.3.2. Respiração Basal do Solo (RBS).....	7
2.3.3. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs).....	8
2.3.4. Atividade enzimática.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Localização e descrição geral das áreas.....	11
3.2. Histórico das áreas.....	12
3.3. Coleta das amostras de solo.....	13
3.4. Análises físicas do solo.....	13
3.5. Análises químicas do solo.....	14
3.6. Análises microbiológicas do solo.....	14
3.6.1. Carbono da biomassa microbiana.....	14
3.6.2. Respiração basal do solo.....	15
3.6.3. Fungos micorrízicos arbusculares.....	15
3.6.4. Atividade enzimática.....	16
3.7. Análise estatística.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17

4.1. Caracterização física do solo.....	17
4.2. Caracterização química do solo.....	19
4.2.1. Carbono Orgânico Total (COT).....	23
4.3. Caracterização microbiológica do Solo.....	24
4.3.1. Carbono da biomassa microbiana.....	24
4.3.2. Quociente microbiano.....	25
4.3.3. Respiração basal do solo.....	26
4.3.4. Quociente metabólico.....	29
4.3.5. Fungos micorrízicos arbusculares.....	29
4.3.6. Atividade enzimática.....	30
4.3.6.1. Arilsulfatase.....	31
4.3.6.2. Fosfatase ácida.....	32
4.3.6.3. $\beta$ -glucosidase.....	34
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS.....	44



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Propriedades físicas das amostras de solo de diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. Médias de 4 repetições.....	18
<b>Quadro 2.</b> Propriedades químicas das amostras de solo de diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. Médias de 4 repetições.....	21
<b>Quadro 1A.</b> Teores de carbono orgânico total das amostras de solo coletadas em diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE. Médias de 4 repetições.....	45
<b>Quadro 2A.</b> Propriedades microbiológicas das amostras de solo coletadas em diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE. Médias de 4 repetições.....	45

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Teores de carbono orgânico total em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	24
<b>Figura 2.</b> Teores de carbono da biomassa microbiana em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	25
<b>Figura 3.</b> Relação $CBM/COT * 100$ (qMIC) em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	26
<b>Figura 4.</b> Relação entre o C-CO <sub>2</sub> da respiração basal do solo e os dias de avaliação em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	27
<b>Figura 5.</b> Quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	29
<b>Figura 6.</b> Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	30
<b>Figura 7.</b> Atividade da enzima arilsulfatase em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	32
<b>Figura 8.</b> Atividade da enzima fosfatase ácida em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	34
<b>Figura 9.</b> Atividade da enzima $\beta$ -glucosidase em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE.....	35

## RESUMO

**FIALHO, J.S. Indicadores da qualidade do solo em sistemas agrícolas anuais e perenes na Chapada do Apodi – Ceará.**

Este trabalho se propôs a avaliar as alterações nas atividades microbiana, química e física em solo sob sistemas agrícolas anuais e perenes na região da Chapada do Apodi - CE. Procurou-se testar a hipótese de que o uso agrícola de áreas sob sistemas anuais e perenes causam alterações ambientais que influenciam a biomassa e a atividade microbiana do solo, reduzindo-a em relação a áreas sob vegetação natural. Foram selecionadas duas áreas com respectivas testemunhas (vegetação natural); a primeira sob cultivo de bananeiras (Fazenda Frutacor) e a outra sob cultivo de rotação milho e soja (Fazenda Faedo). Coletaram-se amostras compostas de solo em três profundidades (0-5, 5-15 e 15-25 cm) com quatro repetições. Nas amostras coletadas foram realizadas análises físicas, químicas e microbiológicas. Fisicamente, observou-se uma elevação no teor de argila, com o aumento da profundidade na área cultivada com banana e na mata natural pivot. Em relação aos atributos químicos do solo, os riscos potenciais de salinidade e de saturação por sódio aparentemente são desprezíveis. As práticas de manejo reduziram o N e o carbono orgânico total nos solos das áreas sob cultivo. Quanto à microbiologia dos solos, o carbono da

biomassa microbiana e a população de fungos micorrízicos arbusculares foram mais elevados na profundidade de 0-5cm do solo. A respiração basal do solo mostrou que os solos das áreas avaliadas têm baixa atividade microbiana quando comparados a solos do Cerrado. A atividade e produção da arilsulfatase e da fosfatase ácida foram estimuladas possivelmente, pela competição dos ânions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^-$  pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides do solo, nas áreas de banana e rotação milho e soja. A maior atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase ocorreu nas áreas cultivadas, influenciada pela quantidade e qualidade do resíduo vegetal retornado ao solo.

## SUMMARY

**FIALHO, J.S. Indicators of the quality of the soil in annual and perennial agricultural systems of the Chapada do Apodi - Ceará.**

This work had the proposed to evaluate the alterations in the microbial activities, chemistry and physics in soil under annual and perennial agricultural systems in the area of the Chapada do Apodi - CE. It tried to test the hypothesis that the agricultural use of areas under annual and perennial systems causes environmental alterations that they influence the biomass and the microbial activity of the soil, reducing it in relation to areas under natural vegetation. Two areas were selected with respective witness (natural vegetation); the first under cultivation of banana trees (Fazenda Frutacor) and the other under cultivation of rotation corn and soy (Fazenda Faedo). Samples composed of soil were collected in three depths (0-5, 5-15 and 15-25 cm) with four repetitions. In the collected samples physical analyses, chemistries and microbiological were accomplished. Physically, an elevation was observed in the clay text, with the increase of the depth in the area cultivated with banana and in the forest natural pivot. In relation to the chemical attributes of the soil, the potential risks of salinity and of saturation for sodium seemingly are worthless. The handling practices reduced N and the total organic carbon in the soils of the areas under cultivation. With relationship to the microbiology of the soils, the

carbon of the microbial biomass and the population of arbuscular mycorrhizal fungi were more elevated in the depth of 0-5cm of the soil. The basal breathing of the soil identified that the soils of the appraised areas have microbial when compared low activity the soils of the Cerrado. The activity and production of the arylsulphatase and of the acid phosphatase were stimulated possibly, for the competition of the anions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  and  $\text{SO}_4^{4-}$  for the same ranches of adsorption in the coloides of the soil, in the banana areas and rotation corn and soy. The largest activity of the enzyme  $\beta$ -glucosidase happened in the cultivated areas, influenced by the amount and quality of the vegetable residue come back to the soil.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma conscientização crescente sobre qualidade ambiental vem sendo propagada em diversos ramos da sociedade. Esta propagação é resultante da constatação humana da necessidade de preservação do meio ambiente. A possibilidade de retornar ao período onde as comunidades eram nômades em função da vigência dos recursos alimentares em determinada região, por exemplo, não é mais concebível nos dias atuais. Todos os componentes do meio ambiente são singulares, neste trabalho será tratado o solo, ambiente suporte para diversos organismos incluindo os seres autótrofos da cadeia alimentar.

Os fatores que influenciam a qualidade do solo são diversos. O solo é um meio que possibilita a interação de diversos organismos, caracterizando-se assim, por apresentar uma alta complexidade biológica. Os organismos do solo podem representar uma importante variável na avaliação da qualidade do solo. O manejo inadequado e intensivo do solo pode ocasionar, em pouco tempo, um estado de degradação que, caso seja reversível, requer muito mais tempo e recursos para sua recuperação. Assim, faz-se necessário o monitoramento dos solos manejados com vista à preservação da sua qualidade, para que os mesmos possam proporcionar uma produção contínua; além do fato de que 40% de todos os solos cultivados do mundo, indicam

uma degradação induzida por atividades antrópicas (Tótola & Chaer, 2002). Os indicadores são utilizados como ferramentas deste monitoramento.

Atualmente, a maioria dos indicadores físicos e químicos possui faixas de valores ideais para suas variáveis; o mesmo ainda não acontece com os biológicos. Assim, com base na carência de informações sobre os indicadores biológicos e por sua sensibilidade em responder mais rapidamente às mudanças oriundas do manejo, este trabalho priorizou esse tipo de indicador. Além disso, em toda a região nordeste, metodologias como a quantificação da atividade enzimática do solo ainda são pouco utilizadas.

A região da Chapada do Apodi, caracteriza-se pela predominância do cultivo de bananeira, com cerca de quarenta produtores ocupando uma área de 800 hectares, cuja produtividade está em torno de 35 a 40 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Estudos relativos ao monitoramento das propriedades do solo, nestas áreas, são importantes para avaliar a sustentabilidade das práticas agrícolas empregadas e suprir a ausência de dados; além de sinalizar o manejo adequado do ambiente visando a sua conservação e produtividade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nas propriedades microbiológicas, químicas e físicas do solo, sob vegetação natural e sob sistemas agrícolas anuais e perenes na região da Chapada do Apodi, município de Limoeiro do Norte no Estado do Ceará. Procurou-se testar a hipótese de que o uso agrícola de áreas sob sistemas anuais e perene reduz a biomassa e a atividade microbiana do solo em relação a áreas sob vegetação natural.



## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Contextualização do problema**

O manejo adequado do solo que contribua para aumentar ou conservar a sua qualidade, não somente irá aumentar a produtividade das culturas como também contribuirá para manter a boa qualidade ambiental.

A qualidade do solo tem sido definida por Tótola & Chaer (2002), como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e de animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana. Entender e conhecer a qualidade do solo possibilita manejá-lo de maneira que ele funcione de forma ótima no presente e que não seja degradado para uso futuro. Pelo monitoramento das mudanças na qualidade do solo, pode-se determinar se um conjunto de práticas é sustentável.

Segundo Bezdicek (1996), o solo tem como função o suporte aos processos da vida, ou seja, promover o suporte físico e os nutrientes para as plantas, a retenção e o movimento da água, as cadeias alimentares e as funções reguladoras do ambiente, incluindo a ciclagem de nutrientes,

a diversidade de macro e microrganismos, a remediação de poluentes e a imobilização de metais pesados.

O uso intensivo de muitos ecossistemas tem contribuído para a redução da biodiversidade, nos diversos níveis de organização biológica. Processos relacionados com a degradação ambiental incluem derrubada de vegetação natural, agricultura e pecuária intensivas, mineração, dentre outros. A crescente conscientização sobre assuntos correlatos à qualidade ambiental destaca, dentre outros, os impactos ocasionados pelas práticas agrícolas. A dilapidação dos recursos não-renováveis, a erosão do solo, o declínio da biodiversidade, a poluição do solo, da água e do ar são processos que culminam com a degradação do ambiente, considerada a quarta maior preocupação ecológica mundial (Tótola & Chaer, 2002).

Conforme Gama-Rodrigues & De-Polli, (2000), o grande desafio da ciência do solo é demonstrar a relação entre os níveis de atividade biológica e o funcionamento sustentável do ecossistema. Neste sentido, uma prática medida do “status biológico” do solo é a biomassa microbiana. Desta forma, a biomassa e a atividade microbiana devem fazer parte dos estudos de ciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, tendo como enfoque sua contribuição na decomposição e mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, na fertilidade do solo. Além disso, a quantificação da biomassa e atividade microbiana, quando associadas a outros fatores como o pH e teor de C orgânico, permitem uma avaliação sistêmica do manejo adotado e, possivelmente, a obtenção de melhores índices de aferição da sustentabilidade.

## **2.2. Indicadores biológicos na avaliação 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 a 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. Por exemplo, a

quantificação da biomassa microbiana permite avaliar o potencial de reserva de C e N do sistema e a sua atividade, a mineralização dos compostos orgânicos e, conseqüentemente, a liberação e ciclagem de nutrientes. Assim, a biomassa microbiana do solo funciona como importante reservatório de vários nutrientes das plantas, visto que pertence ao componente lábil da matéria orgânica do solo e possui atividade influenciada pelas condições bióticas e abióticas, tornando-a sensível às alterações no manejo do solo. A presença e atividade microbiana podem funcionar como indicadores assumindo, portanto, grande importância econômica e ambiental. De toda forma, as mudanças nas propriedades microbiológicas causadas pelo preparo do solo, sistemas de fertilização e consórcios de culturas podem ser detectadas anteriormente às mudanças nos teores de C e N total do solo (Leite et al., 2000).

A degradação ambiental ou a perda da capacidade produtiva pode ser identificada através de indicadores, e a partir da comparação de diferentes sistemas de manejo com a um ecossistema referencial como a mata natural preservada. Em geral, quando se comparam solos que estão submetidos à atividade agrícola intensiva com solos sob vegetação natural, observa-se redução nos valores encontrados para os indicadores biológicos associados à redução no conteúdo de matéria orgânica no solo sob cultivo e, paralelamente, melhoria significativa nas características químicas usadas como critério de fertilidade (Monteiro & Gama-Rodrigues, 2000).

Atualmente, existe na literatura grande quantidade de informações acerca dos indicadores químicos e físicos, o que permite, com certo grau de confiabilidade, definir faixas de valores adequados para essas características em diversos tipos de solos e culturas. O mesmo não ocorre com relação aos indicadores biológicos, cuja base de informação ainda é pouco consistente para permitir uma interpretação adequada e para definir valores ótimos em diferentes situações (Stenberg, 1999).

### **2.3. Biomassa Microbiana (BM)**

De acordo com Jenkinson & Ladd (1981), a BM é a principal fonte de enzimas no solo, sendo responsável pela quase totalidade de atividade biológica deste, catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de C e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta. Constitui parte da fração da matéria orgânica ativa do solo, contendo, em média, de 2 a 5% do C orgânico.

A biomassa microbiana é o compartimento central do ciclo do C, representando um reservatório de nutrientes nos solos, sendo um atributo fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas. Nesse sentido, de acordo com as condições edafoclimáticas e da qualidade do aporte orgânico, a BM pode exercer função catalisadora de fonte e/ou reserva de nutrientes. A rápida ciclagem da biomassa microbiana pode também fornecer fluxos de relevante importância na nutrição das plantas (Gama-Rodrigues & De-Polli, 2000). Já foram constatadas relações estreitas entre a BM e a produtividade das plantas, taxa de amonificação, segundo Holmes & Zak, (1994), taxa de decomposição de resíduos vegetais e a biomassa dos níveis tróficos superiores, de acordo com Wardle (1994).

A avaliação da BM, conforme Powlson et al. (1987), pode prover informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou devastação de florestas, regenerar solos após a remoção da camada superficial e avaliar os efeitos da poluição com metais pesados e pesticidas. No entanto, segundo Espindola et al., (2001), seus resultados devem ser associados a outras variáveis como taxa de respiração e teores de carbono orgânico e nitrogênio total para que se possa avaliar a dinâmica da matéria orgânica.

### **2.3.1. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)**

Segundo Gama-Rodrigues & 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, o qual é constituído basicamente por fungos, bactérias e actinomicetos.

Dentre os métodos mais utilizados para sua determinação, destacam-se: clorofórmio-fumigação-incubação/CFI (Jenkinson & Powlson, 1976) e clorofórmio-fumigação-extração/CFE (Vance et al., 1987), baseados na esterilização parcial (fumigação) de amostras de solo. Recentemente, Ferreira et al. (1999), modificaram o método de Vance et al. (1987), substituindo a fumigação com clorofórmio por irradiação de microondas. Apesar da menor eficiência deste tratamento quanto ao método de fumigação, o método apresentou alta correlação. Feigl et al. (1995), compararam os métodos CFI e CFE em amostras de solo coletadas em Latossolos e

Podzólicos da Amazônia sob vegetação de mata natural (profundidade de 0-10 cm); quando o controle não fumigado não foi subtraído das amostras fumigadas, houve boa correlação entre os teores de biomassa estimados. Além disso, o tratamento das amostras com irradiação de microondas é mais prático, rápido e não utiliza o clorofórmio, uma substância potencialmente perigosa a saúde humana (Oliveira et al., 2001).

A relação  $[(CBM/COT) * 100]$ , também denominada quociente microbiano (qMIC), fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica. Segundo Wardle (1994), quando a BM encontra-se sob algum fator de estresse, (deficiência nutricional, acidez, salinidade, etc.), a capacidade de utilização do C é diminuída; ocasionando diminuição na relação ( $<qMIC$ ). Ao contrário, com a adição de matéria orgânica ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a BM pode aumentar rapidamente ( $>qMIC$ ). As mudanças no qMIC podem refletir ainda, segundo Sparling (1992), a eficiência de conversão do COT para CBM, as perdas de C do solo e a estabilização do COT pelas frações minerais do solo.

### **2.3.2. Respiração Basal do Solo (RBS)**

A respiração microbiana é definida, por Gama-Rodrigues & De-Polli (2000), como a absorção de  $O_2$  ou liberação de  $CO_2$  pelas bactérias, fungos, algas e protozoários no solo, incluindo as trocas gasosas que resultam de ambos os metabolismos aeróbio e anaeróbio. A vantagem de se medir  $CO_2$  ao invés de  $O_2$  está no fato do  $CO_2$  refletir a atividade tanto de microrganismos aeróbios quanto de anaeróbios. Em adição, Allen & Schlesinger (2004), citam que a respiração microbiana representa o mecanismo primário de degradação do C imobilizado pelas plantas e estima o potencial de seqüestro de C na biosfera terrestre.

Segundo Paul et al., (1999) a atividade dos organismos no solo é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo a respiração do solo um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do COT e de distúrbios no ecossistema, mas a interpretação de seus valores deve ser realizada com cautela. De acordo com Islam & Weil (2000), uma alta taxa de respiração, indicativo de alta atividade biológica, pode ser uma característica desejável, se considerada como um sinal de rápida decomposição de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. Entretanto, 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 a capacidade de retenção de água. Desse modo, altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico (incorporação de resíduos) como um alto nível de produtividade do ecossistema.

Segundo Wardle (1994), de acordo com a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (BM), ou quociente metabólico ( $qCO_2$ ), pode-se determinar a eficiência na utilização dos recursos do ecossistema. Assim, uma BM “eficiente” ( $<qCO_2$ ) tem menor taxa de respiração em relação a uma mesma BM “ineficiente” ( $>qCO_2$ ). Dessa forma, tanto fatores de “estresse” (que envolvem “estado de equilíbrio” ou condições desfavoráveis, como metais pesado, limitações de nutrientes, baixo pH) como fatores de perturbação (que envolvem fluxo rápido de condições ambientais, ou seja, cultivo, queimada, etc.) induzem à redução da eficiência microbiana. Em geral, segundo Sakamoto & Obo (1994), um baixo  $qCO_2$  indica economia na utilização de energia e supostamente reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio.

### **2.3.3. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs)**

Segundo Siqueira (1999), os FMAs são muito importantes pela sua ocorrência generalizada na maioria das espécies vegetais e ecossistemas terrestres. São formados por um grupo restrito de fungos microscópicos pertencentes à ordem Glomales, sendo conhecidas apenas em torno de 140 espécies. Os estudos sobre os FMAs têm sido concentrados na ecologia e nos efeitos no crescimento das plantas. Os benefícios para a planta hospedeira dependem principalmente do grau de estresse a que esta está submetida, na grande maioria deficiências nutricionais. Estes variam em função do grau de dependência da planta ao fungo, da simbiótica deste e do ambiente. O efeito nutricional mais consistente dos FMAs é a maior absorção de P. Os efeitos não nutricionais incluem favorecimento na relação água-planta, produção de substâncias reguladoras do crescimento, redução nos danos causados por patógenos, maior tolerância a estresses ambientais e a fatores fitotóxicos no solo e também melhoria na agregação do solo.

Assim, de acordo com Pouyú-Rojas & Siqueira (2000), os FMAs associam-se às raízes das plantas e, propiciam a estas maior capacidade de competição em solos de baixa fertilidade, favorecendo a sobrevivência e desenvolvimento das plantas em condições adversas, tornando-se

de grande importância para programas de restauração e reabilitação ambiental. Segundo Janos (1983), devido a essa ocorrência generalizada e aos benefícios para a planta hospedeira e para o funcionamento do ecossistema, eles são de grande significância ecológica e agrícola e têm sido objeto de grande volume de pesquisas.

Para detectar e quantificar a presença dos FMAs são necessários procedimentos específicos como: observação e avaliação microscópica das raízes quanto à presença do fungo e estruturas típicas como arbúsculos, vesículas e esporos; extração e separação dos esporos do solo, cuja presença é indicativo da ocorrência da associação no ecossistema e bioensaio para determinação da infectividade do solo e do número mais provável de propágulos no solo (Siqueira & Moreira, 2002).

#### **2.3.4. Atividade enzimática**

As enzimas do solo têm sido sugeridas como potenciais indicadores biológicos da qualidade do solo, tendo em vista o seu relacionamento com a atividade biológica (Tabatabai, 1994), a facilidade de determinação e a resposta rápida às mudanças no manejo do solo (Dick, 1994). Vários trabalhos têm demonstrado o grande potencial das análises enzimáticas, como indicadores sensíveis para detectar diferenças entre solos e mudanças que variam em função da influência antrópica.

De acordo com Dick (1994), a atividade enzimática de um solo é o resultado do somatório da atividade dos organismos vivos (microrganismos, plantas e animais) e das enzimas abióticas (enzimas associadas à fração não viva, que se acumulam no solo, protegidas da ação de proteases através da adsorção em partículas de argila e na matéria orgânica). Conforme Stevenson et al. (2004), como resultado da atividade dos microrganismos, ocorre a produção de várias enzimas extracelulares, capazes de atacar substratos orgânicos que compõem a matéria orgânica do solo ou necromassa, liberando monômeros, que são absorvidos e metabolizados nas células, produzindo biomassa, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e elementos minerais.

As enzimas têm participação essencial nos ciclos dos elementos no solo e como são sintetizadas principalmente pelos organismos que nele crescem, as condições que favorecem a atividade microbiana, como adubação orgânica, presença de vegetação (rizosfera) e rotação de

culturas, também favorecem a atividade enzimática que, muitas vezes, se correlaciona positivamente com a produtividade ou qualidade do solo.

As enzimas mais comumente analisadas, segundo Tabatabai (1994), são as ligadas aos ciclos da matéria orgânica e dos macronutrientes C, N, S e P, a saber:  $\beta$ -glucosidase, invertase e galactosidases, as quais desempenham papel fundamental na liberação de açúcares de baixa massa molecular, que são importantes fontes de energia para microrganismos; as celulases, responsáveis pela hidrólise da celulose, molécula orgânica mais abundante na natureza; as ureases, amidases e proteases, as quais participam do ciclo do N, contribuindo para a liberação de N-inorgânico; a arilsulfatase, a qual libera  $\text{SO}_4^-$  para as plantas; e as fosfatases ácidas e alcalinas, responsáveis pela hidrólise de ligações P-éster da matéria orgânica, com subsequente liberação de P inorgânico. Os procedimentos para a determinação dessas enzimas são relativamente simples quando comparados com os procedimentos analíticos realizados para a quantificação de nutrientes em uma análise de solo de rotina.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização e descrição geral das áreas

A coleta das amostras foi conduzida na Chapada do Apodi, município de Limoeiro do Norte - Ceará. A Chapada do Apodi está inserida na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe e situa-se a aproximadamente 220 km de Fortaleza. Este município encontra-se no semi-árido com coordenadas geográficas 05° 06' 38" e 05° 11' 39" de latitude sul e ao oeste de Greenwich entre as paralelas 37° 52' 21" e 37° 56' 05" de longitude (Iplance, 2000).

A Chapada do Apodi caracteriza-se pela predominância de Cambissolos Latossólicos Eutróficos. A textura do solo é do tipo franco-argilosa. O relevo dominante da região é bastante regular, uniforme, plano, com altura aproximadamente de 100 m e de declividade muito suave, variando entre 0,5 a 1,5%. A vegetação natural é típica da caatinga arbórea (floresta caducifólia espinhosa) e arbustiva densa, com trechos mais arbóreos e espinhosos, com diversos graus de densidade (CPMR, 1999).

A Chapada do Apodi encontra-se sob a influência de um clima semi-árido, com pluviosidade média anual de 550 a 940 mm e a temperatura média anual é de 23°C. Caracteriza-se por apresentar duas estações distintas, uma seca de longa duração (junho a dezembro) e outra

chuvosa (janeiro a maio). Comparando-se os totais médios das duas estações, verifica-se que o período chuvoso é muito curto, a pluviometria muito baixa e as médias mensais da temperatura são elevadas. A umidade relativa do ar, elemento climático que é função da temperatura e da evaporação, atinge valores superiores a 84% no mês de abril e inferiores a 50% em setembro (Embrapa, 1999).

### 3.2. Histórico das áreas

Área 1 - Cultivo de bananeiras (BAN) - 05° 09' Sul e 37° 59' Oeste:

Área comercial situada na Fazenda Frutacor possuindo 3,75 ha, sendo cultivada com a cultura de bananeira Prata Anã desde 1998. A remoção da mata natural ocorreu em 1985, após o qual foi cultivada com as culturas de milho, melão, tomate e feijão, até 1998. No preparo da área, utilizaram-se máquinas e implementos agrícolas como: gradagem cruzada, subsolagem, aração, sulcamento, roçagem mecânica (nas bordaduras da área) e roçagem manual (no período chuvoso). Normalmente, os restos culturais são utilizados como cobertura morta; além de herbicida e pulverizações anuais para o controle do *Fusarium*, causador do mal de Sigatoka Amarela. A irrigação por microaspersão foi diária e localizada na fileira dupla. A adubação foi feita em meia lua, com 30 cm, direcionada para o filho (seguidor), sendo utilizada inicialmente a fosfatagem. Não há necessidade de calagem. Após 60 dias da adubação de fundação (1.700 kg de cloreto de potássio ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 20 ton. de matéria orgânica na forma de esterco bovino e caprino) ocorreu a fertirrigação (100 g de N planta<sup>-1</sup>, 200 g de K planta<sup>-1</sup> e 200 g de MAP) seguida, após 4 meses, da adubação de cobertura (esterco e MAP). O espaçamento foi de 2,4 m entre plantas, 2,0 m entre fileiras e 4,0 m entre fileiras duplas. A coleta dos cachos de bananas foi realizada nas entrelinhas e a produtividade esteve em torno de 32 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Área 2 – Mata natural bananeira (MNB) - 5° 09' Sul e 38° 00' Oeste:

Área sob vegetação natural, situada na Fazenda Frutacor localizada próximo à área cultivada com bananeiras. A vegetação natural é caracterizada pelo predomínio da caatinga arbustivo-arbórea onde, na maioria das espécies, há uma presença marcante da caducidade foliar sobre as outras formas de resistência à seca.

Área 3 – Mata natural pivot central (MNP) - 5 ° 10' Sul e 37° 58' Oeste:

Área, sob vegetação natural, situada na Fazenda Faedo, ao lado da área cultivada com rotação de milho e soja. Uma provável influência antrópica foi observada pela presença, na borda desta área, de embalagens usadas de adubos químicos. No entanto, a área caracteriza-se por ser de mata fechada e a vegetação está representada principalmente por aroeira, angico, pereiro, mororó, umburana e catingueiras (Lima, 1989).

Área 4 – Rotação milho e soja sob pivot central (MSP) - 5° 10' Sul e 37° 59' Oeste:

Área comercial, situada na Fazenda Faedo, possuindo 50 ha e sob cultivo em rotação com milho e soja desde o ano de 2002. Os cultivos realizados anteriormente foram de feijão, algodão e tomate. O cultivo da soja é convencional seguido do plantio de milho em cima da palhada da soja. Utilizou-se adubação de fundação para o cultivo da soja (400 kg de NPK - 10-28-20) e de cobertura (400 kg de uréia e 200 kg de sulfato de amônio). Quando necessário, fez-se adubação de cobertura utilizando cloreto de potássio. No preparo do solo foram realizados gradagem, subsolagem, nivelamento e cobertura morta (no inverno) e no pré-plantio, foram realizadas pulverizações com herbicida, inseticida e micronutrientes (adubação foliar). A área foi irrigada por pivot central durante 8 h, no intervalo de dois dias. O espaçamento foi de 90 cm entre linhas e 20 cm entre plantas para o milho; e de 45 cm entre linhas e 12 cm entre plantas para a soja. A produção da soja esteve em torno de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> e a do milho em torno de 30.000 espigas ha<sup>-1</sup>.

### **3.3. Coleta das amostras de solo**

As amostras de solo deformadas foram coletadas nas profundidades de 0 - 5, 5 - 15 e 15 - 25 cm. Para cada profundidade foram coletadas quatro amostras compostas oriundas de quatro amostras simples homogêneas. Uma parte das amostras coletadas foi colocada em sacos de polietileno, acondicionada em caixas de isopor e levada ao laboratório para análises microbiológicas posteriores. A outra parte foi seca ao ar e peneirada (< 2mm), para serem utilizadas nas análises químicas e físicas.

### **3.4. Análises físicas do solo**

As análises físicas das amostras de solo foram realizadas no Laboratório de Rotina de Análise de Solo da Universidade Federal do Ceará. Os atributos físicos determinados, segundo Embrapa (1997), foram: granulometria, classe textural, grau de flocculação, água útil e umidade sob duas pressões (0,33 e 1,5 Mpa).

### **3.5. Análises químicas do solo**

As análises químicas das propriedades: pH em água (1: 2,5), condutividade elétrica,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  e  $K^+$  trocáveis acidez potencial ( $H^+$  +  $Al^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V%), porcentagem de sódio trocável (PST), P disponível, N e matéria orgânica foram realizadas no Laboratório de Rotina de Análise de Solo da Universidade Federal do Ceará, segundo Embrapa (1997). Enquanto a análise do carbono orgânico total (COT) do solo, pelo método de Walkley – Black, com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988), foi conduzida no Laboratório de Matéria Orgânica da Universidade Federal de Viçosa.

### **3.6. Análises microbiológicas do solo**

Como indicadores biológicos foram avaliados: carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano, respiração basal do solo, quociente metabólico, fungos micorrízicos arbusculares e a atividade enzimática com base nas enzimas do solo: fosfatase ácida, arilsulfatase e  $\beta$ -glucosidase. As análises microbiológicas foram realizadas nos Laboratórios de Microbiologia da Universidade Federal do Ceará e de Matéria Orgânica da Universidade Federal de Viçosa.

#### **3.6.1. Carbono da biomassa microbiana**

Determinado pelo método clorofórmio – fumigação – extração / CFE, utilizando-se, entretanto, para eliminação dos microrganismos o forno de microondas por três minutos. O forno de microondas utilizado era da marca Panasonic, tensão de alimentação 220 V (60 Hz), frequência de microondas de 2.450 MHz e concentração de energia 1.450 W. Porções de 12,5 g de solo foram colocadas em placas de Petri e esterilizadas no forno de microondas, sendo

determinada nestas amostras à umidade pela diferença de peso antes e depois da esterilização. O tratamento-controle se diferenciou dos demais por não submeter às porções de solo à irradiação (Ferreira et al., 1999). Foram adicionados aos béqueres 50 ml de  $K_2SO_4$  ( $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ ), utilizando uma relação solo: extrator 1: 1,25 (Vance et al., 1987), seguido de agitação por trinta minutos e de filtragem em filtro médio. Da solução filtrada, foi retirada uma alíquota de 10 ml do extrato a qual foi adicionada 2 ml de  $K_2Cr_2O_7$  ( $0,066 \text{ M}$ ), 10 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, 80 ml de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína. Esta solução foi titulada com  $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$  ( $0,03 \text{ N}$ ). Os valores do carbono presente na biomassa microbiana foram calculados pela equação:

$$CBM = (C_i - C_{ni}) / K_c = \text{mg kg}^{-1} \text{ de C no solo}$$

em que : CBM = carbono presente na biomassa microbiana do solo;

$C_i$  = carbono presente na amostra irradiada;

$C_{ni}$  = carbono presente na amostra não irradiada;

$K_c$  = fator de conversão de 0,33; utilizado para converter o fluxo de C para CBM (Sparling & West, 1988).

O quociente microbiano,  $CBM/COT \cdot 100$ , foi calculado para refletir os aportes de carbono e a conversão de substratos orgânicos para o CBM (Sparling, 1992).

### 3.6.2. Respiração basal do solo

A respiração basal do solo foi estimada após 8 dias de pré-incubação onde as amostras de solo foram mantidas com 70% da capacidade de campo. Cada amostra foi analisada em triplicata contendo 100g de solo. As amostras de solo foram incubadas por 30 dias, colocando-se cada amostra em vidros, hermeticamente fechados, contendo béqueres com 20 mL de NaOH ( $0,5 \text{ N}$ ). O  $C-CO_2$  produzido pela respiração do solo foi capturado pelo NaOH, procedendo-se à titulação do excesso de hidróxido de sódio com HCl ( $0,5 \text{ N}$ ).

O cálculo do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi feito por meio da divisão da quantidade de  $CO_2$  liberado por dia pelo CBM (Anderson & Domsch, 1978).

### 3.6.3. Fungos micorrízicos arbusculares

Para verificar a presença dos fungos micorrízicos arbusculares nas áreas foi utilizada a contagem de esporos de FMAs no solo, a partir de 100 g de solo pela técnica de peneiramento úmido (Gerdeemann & Nicholson, 1964). A contagem foi realizada após o peneiramento dos esporos, através de observação sob microscópio - estereoscópio em placa de Petri dimensionada. Após extração, foi determinado o número total de esporos e foram identificados os principais gêneros presentes. Para comprovar a colonização interna radicular de plantas nas áreas avaliadas, foi utilizada a técnica de coloração interna radicular de Phillips & Hayman (1970).

#### **3.6.4. Atividade enzimática**

Cada amostra de solo coletada no campo foi analisada em triplicata no laboratório. O método baseou-se na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado quando 1 g de solo é incubado por 1 h a 37°C com uma solução tamponada contendo substratos incolores, específicos para cada enzima (Tabatabai, 1994). Os substratos utilizados foram: *p*-nitrofenol sulfato (arilsulfatase), sódio *p*-nitrofenol fosfato (fosfatase ácida) e PNG (*p*-nitrofenol- $\beta$ -D-glucoside) ( $\beta$ -glucosidase). Para calcular o conteúdo de *p*-nitrofenol do filtrado foi utilizada como referência uma curva de calibração dos resultados obtidos com padrões contendo 0, 2, 4, 6, 8 e 10  $\mu$ g de *p*-nitrofenol. A atividade enzimática do solo foi expressa em  $\mu$ g *p*-nitrofenol h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> de solo.

#### **3.7. Análise estatística**

O experimento foi analisado considerando-se um delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as áreas (BAN, MNB, MNP e MSP) e nas subparcelas as profundidades (0-5, 5-15 e 15-25 cm) com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e foram realizadas comparações de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância. A análise dos dados foi realizada no Sistema de Análise Estatística e Genética – SAEG, Universidade Federal de Viçosa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização física do solo

As médias referentes às propriedades físicas (granulometria, grau de flocculação, umidade a 0,033 e 1,5 Mpa e água útil) avaliadas do solo são apresentadas no quadro 1. Os teores de areia grossa na área BAN, nas profundidades de 0-5 e 15-25 cm, foram inferiores aos teores da área testemunha. O mesmo ocorreu com a área MSP, na camada de 0-5 cm. A fração areia fina apresentou diferença entre as áreas BAN e MNB, sendo os teores superiores nos solos sob mata natural. Em relação às áreas MNP e MSP, esta diferença ocorreu nas profundidades 0-5 e 15-25 cm, com valores superiores nas áreas MNP e MSP, respectivamente.

Os teores de silte foram superiores na profundidade de 0-5 cm da área BAN em relação a sua testemunha e, de modo geral, na área MSP quando comparada à área de vegetação natural. A variável argila apresentou diferença somente na profundidade de 0-5 cm na área BAN e na profundidade de 15-25 cm na área MSP, expressando teores superiores nas matas naturais. Esta característica revela uma maior capacidade de adsorção de nutrientes e compostos orgânicos no solo sob mata, nas camadas superficiais. De acordo com a análise das frações do solo, observou-se poucas diferenças texturais entre as áreas, predominando as classes texturais franco-argilo-arenosa nas áreas BAN e MNB; e franca nas áreas MNP e MSP.

O grau de floculação não foi influenciado pelas práticas de manejo. As umidades a 0,033 e 1,5 Mpa e a água útil demonstraram-se maiores, de modo geral, nas áreas BAN e MSP em consequência da maior concentração de matéria orgânica nestas áreas quando comparadas às testemunhas.

**Quadro 1.** Propriedades físicas das amostras de solo de diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. Médias de 4 repetições.

Propriedade	Prof. (cm)	Sistemas de Manejo					
		BAN	MNB	Média	MNP	MSP	Média
Areia Grossa g kg <sup>-1</sup>	0-5	355,00 aB	387,50 aA	371,25	342,50 aA	262,50 aB	302,50
	5-15	335,00 aA	340,00 bA	337,50	237,50 bA	262,50 aA	250,00
	15-25	255,00 bB	317,50 bA	286,25	195,00 cA	197,50 bA	196,25
	<i>Média</i>	315,00	348,33		258,33	240,83	
	<i>C.V.</i>		4,70			8,97	
Areia Fina g kg <sup>-1</sup>	0-5	207,50	205,00	206,25AB	215,00 aA	167,50 aB	191,25
	5-15	207,50	227,50	217,50A	167,50 bA	155,00 aA	161,25
	15-25	177,50	190,00	183,75B	125,00 cB	162,50 aA	143,75
	<i>Média</i>	197,50*	207,50*		169,16	161,66	
	<i>C.V.</i>		8,41			12,25	
Silte g kg <sup>-1</sup>	0-5	265,00 aA	177,50 aB	221,25	257,50	340,00	298,75
	5-15	212,50 aA	175,00 aA	193,75	257,50	310,00	283,75
	15-25	240,00 aA	212,50 aA	226,25	202,50	355,00	278,75
	<i>Média</i>	239,17	188,33		239,17*	335,00*	
	<i>C.V.</i>		16,77			22,12	
Argila g kg <sup>-1</sup>	0-5	172,50 cB	230,00 aA	201,25	185,00 bA	230,00 aA	207,50
	5-15	245,00 bA	257,50 aA	251,25	337,50 aA	272,50 aA	305,00
	15-25	327,50 aA	280,00 aA	303,75	477,50 aA	285,00 aB	381,25
	<i>Média</i>	248,33	255,83		333,33	262,50	
	<i>C.V.</i>		14,39			26,65	
Classe Textural	0-5	Fr. Ar.	Fr. Arg. Ar.		Fr. Arg. Ar.	Fr.	
	5-15	Fr. Arg. Ar.	Fr. Arg. Ar.		Fr. Arg.	Fr.	
	15-25	Fr. Arg.	Fr. Arg. Ar.		Arg.	Fr.	
Grau de Floculação g 100g <sup>-1</sup>	0-5	74,25 <sup>ns</sup>	70,25 <sup>ns</sup>	72,25	86,50 <sup>ns</sup>	77,00 <sup>ns</sup>	81,75
	5-15	66,25 <sup>ns</sup>	73,25 <sup>ns</sup>	69,75	89,75 <sup>ns</sup>	69,00 <sup>ns</sup>	79,38
	15-25	69,25 <sup>ns</sup>	78,25 <sup>ns</sup>	73,75	86,50 <sup>ns</sup>	80,75 <sup>ns</sup>	83,63
	<i>Média</i>	69,92	73,92		87,58	75,58	
	<i>C.V.</i>		25,10			27,62	
Umidade 0,033 Mpa g 100g <sup>-1</sup>	0-5	18,54 aA	18,11 aA	18,33	17,26 cB	20,08 aA	18,67
	5-15	16,75 bA	14,73 bB	15,74	18,25 bB	20,08 aA	19,17
	15-25	18,35 aA	15,19 bB	16,77	19,57 aB	20,58 aA	20,08
	<i>Média</i>	17,88	16,01		18,36	20,25	
	<i>C.V.</i>		3,09			2,23	
Umidade 1,5 Mpa g 100g <sup>-1</sup>	0-5	13,13	12,26	12,70A	11,96	14,11	13,04 B
	5-15	11,70	10,64	11,17B	12,61	13,83	13,22 B
	15-25	11,79	11,33	11,56AB	14,87	15,09	14,98 A
	<i>Média</i>	12,21*	11,41*		13,15*	14,34*	
	<i>C.V.</i>		8,89			5,30	

Continua...



**Quadro 1. Cont.**

<b>Água Útil</b>	0-5	5,41 aA	5,84 aA	5,63	5,29 <sup>ns</sup>	5,96 <sup>ns</sup>	5,63
	5-15	5,05 aA	4,08 abA	4,57	5,63 <sup>ns</sup>	6,25 <sup>ns</sup>	5,94
	15-25	6,56 aA	3,86 bB	5,21	4,69 <sup>ns</sup>	5,49 <sup>ns</sup>	5,09
	<i>Média</i>	5,67	4,59		5,20	5,90	
	<i>C.V.</i>		19,30			15,31	

\*Valores diferem estatisticamente pelo teste de F. ns = não-significativo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a, b e c comparam as profundidades da mesma área; A e B comparam as áreas.

**4.2. Caracterização química do solo**

As médias referentes às propriedades químicas (pH em água (1: 2,5), condutividade elétrica, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> trocáveis, acidez potencial (H<sup>+</sup>+ Al<sup>3+</sup>), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V%), porcentagem de sódio trocável (PST), P disponível, nitrogênio e matéria orgânica) dos solos são apresentadas no quadro 2.

De acordo com as recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará (Ceará, 1993), as áreas BAN e MSP caracterizaram-se por apresentar uma alcalinidade de baixa à média, com pH variando entre 7,2 a 7,8. Há maior conteúdo dos íons Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (reconhecidamente de caráter alcalino) nestas áreas quando comparadas às respectivas testemunhas. A presença desses íons influenciou os valores elevados de pH nas áreas BAN e MSP; enquanto que as áreas MNB e MNP, caracterizam-se por apresentar uma acidez baixa tendendo a neutralidade, com pH variando entre 6,5 a 7,0.

De modo geral, a condutividade elétrica (CE) não diferiu entre as áreas e os valores observados indicam baixa concentração de sais solúveis, caracterizando as áreas como isentas de riscos potenciais de salinidade (Embrapa, 1999).

Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram considerados altos, em todas as áreas, de acordo com Ceará (1993) e Tomé Júnior (1997), o que advém da origem calcárea desses solos. No entanto, observa-se que os valores são superiores nas áreas cultivadas em detrimento das áreas sob mata natural, o que pode estar relacionado ao fornecimento de nutrientes pela adubação realizada nas áreas cultivadas. O Na<sup>+</sup> do complexo de troca apresentou baixos teores em todas as áreas não conferindo ao solo caráter solódico ou sódico (Embrapa, 1999).

Os níveis de K<sup>+</sup> não diferiram, entre as áreas, apresentando teores altos resultantes da expressiva presença de mica no solo; assim como resultado apresentado por Mota (2004). A acidez potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>) não diferiu entre as profundidades, apresentando valores superiores

nas áreas de mata natural. Enquanto que, a acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) só foi detectada na profundidade de 15-25 cm da área MNP com valor de  $0,03 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  considerado, por Tomé Júnior (1997), não nocivo às plantas.

A soma de bases onde os valores variaram de 8,75 a  $17,77 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , tende a diminuir com a profundidade, resultado este diferente do apresentado por Souza Júnior et al., (2001). Não houve diferença na soma de bases entre as áreas MNP e MSP, enquanto que, nas outras áreas, observou-se uma diferença entre as profundidades de 0-5 e 5-15 cm com valores superiores na área BAN, provavelmente devido à adubação empreendida nessa área, fato que elevou a disponibilidade de nutrientes.

A capacidade de troca catiônica (CTC) variou entre 10,50 a  $14,32 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nas áreas testemunhas e entre  $18,20$  a  $11,85 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nas áreas cultivadas. A CTC não diferiu entre as áreas BAN e MNB, destacando apenas a primeira profundidade por apresentar valores superiores às demais, o que pode está correlacionado ao maior teor de matéria orgânica nessa profundidade (Meurer, 2004). No entanto, as áreas MNP e MSP, apresentaram diferença entre as profundidades de 5-15 e 15-25 cm, com valores maiores na área MSP. Segundo Mota (2004), é interessante salientar que os dados da CTC guardam uma estreita relação com o estágio de imtemperismo dos solos, isto é, valores mais elevados se relacionam com solos relativamente mais jovens, enquanto valores mais baixos refletem uma evolução mais acentuada dos mesmos. Assim, comparados aos valores obtidos por este autor, em experimento conduzido na Chapada do Apodi em áreas com a cultura de melão, que variaram de 3,30 a  $11,70 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , o solo aqui estudado é considerado mais jovem.

Para a saturação de bases (V%), observou-se diferença nas áreas BAN e MNB. Nas áreas MNP e MSP, houve diferença apenas na profundidade de 15-25 cm. Sendo a saturação por bases um excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo, segundo Tomé Júnior (1997), estes solos são considerados eutróficos (férteis). A porcentagem de sódio trocável (PST), de modo geral, apresentou diferença entre as áreas, exceto na profundidade de 0-5 cm das áreas BAN e MNB. Os valores apresentados estão muito abaixo de 15% quantidade, segundo Meurer (2004), utilizada como referencial na classificação de solos afetados por sais.

As maiores concentrações de fósforo ocorreram nas profundidades superficiais em todas as áreas, conforme Souza Júnior et al., (2001), que correlacionaram esse comportamento com altos valores de pH e a adição de corretivos e fertilizantes aplicados. O fósforo disponível

apresentou valores muito superiores nas áreas cultivadas, entre as duas primeiras profundidades nas áreas BAN e MNB, e em todas as profundidades nas áreas MNP e MSP, assim como apresentado por Rheinheimer et al., (1998).

Os teores de N variaram entre 0,60 a 1,88 g kg<sup>-1</sup>, o que era esperado em função dos baixos teores de matéria orgânica. Os maiores teores de N foram encontrados nas áreas de mata natural, e reduzidos com o aumento da profundidade para as áreas BAN e MNB comportamento semelhante foi apresentado por Souza Júnior et al., (2001). A relação C/N variou entre 17,40 a 14,10 nas áreas cultivadas e de 17,63 a 13,95 para as áreas naturais, onde se observa maior mineralização do que imobilização dos nutrientes, pela decomposição da matéria orgânica (Mendonça & Oliveira, 2000). Os maiores teores de matéria orgânica foram detectados na camada superficial, assim como os teores de carbono orgânico, em todas as áreas. O teor de matéria orgânica não diferiu entre as profundidades das áreas BAN e MNB. Enquanto que, nas áreas MNP e MSP, houve diferença entre a profundidade de 0-5 cm, com valores superiores para MNP, pois, de modo geral, a decomposição da matéria orgânica em solos tropicais sob cultivo, segundo Silva et al., (1999), é mais acelerada, pois a baixa densidade de vegetação, aliada às elevadas temperaturas, tem se constituído fator limitante ao aporte de compostos orgânicos ao sistema.

**Quadro 2.** Propriedades químicas das amostras de solo de diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. Médias de 4 repetições.

Propriedade	Prof. (cm)	Sistemas de Manejo					
		BAN	MNB	Média	MNP	MSP	Média
pH em Água 1: 2,5	0-5	7,8 aA	6,7 aA	7,3	7,0 bA	7,2 aA	7,1
	5-15	7,4 aA	6,6 aA	7,0	6,9 bA	7,3 aA	7,1
	15-25	7,3 aA	6,5 aA	6,9	6,4 bA	7,4 aA	6,9
	<i>Média</i>	7,5	6,6		6,8	7,3	
	<i>C.V.</i>		1,38			1,61	
CE dS m <sup>-1</sup>	0-5	0,43	0,55	0,49 A	0,32 aA	0,39 aA	0,36
	5-15	0,27	0,32	0,30 B	0,25 aA	0,38 aA	0,32
	15-25	0,25	0,28	0,27 B	0,25 aA	0,34 aA	0,30
	<i>Média</i>	0,32*	0,38*		0,27	0,37	
	<i>C.V.</i>		11,64			7,69	
Ca <sup>2+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	12,13	8,28	10,21 A	8,6 aA	7,38 aA	7,99
	5-15	7,53	5,73	6,63 B	7,0 aB	7,70 aA	7,35
	15-25	7,33	4,88	6,11 B	5,6 bC	7,35 aA	6,48
	<i>Média</i>	9,00*	6,30*		7,07	7,48	
	<i>C.V.</i>		11,81			8,39	

Continua...

**Quadro 2. Cont.**

Mg <sup>2+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	4,85 aA	3,10 aB	3,98	2,77	4,78	3,78 A
	5-15	4,03 abA	2,70 aB	3,37	1,63	3,90	2,77 B
	15-25	2,93 bA	3,28 aA	3,11	2,35	4,10	3,23 AB
	<i>Média</i>	3,94	3,03		2,25*	4,26*	
	<i>C.V.</i>		18,22			14,70	
Na <sup>+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	0,28 aA	0,17 aA	0,23	0,17 aA	0,27 aA	0,22
	5-15	0,26 aA	0,16 aA	0,21	0,15 aA	0,29 aA	0,22
	15-25	0,34 aA	0,17 aA	0,26	0,14 aA	0,32 aA	0,23
	<i>Média</i>	0,29	0,17		0,15	0,29	
	<i>C.V.</i>		3,76			2,77	
K <sup>+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	0,53 aA	0,90 aA	0,72	0,68	0,86	0,77 B
	5-15	0,35 aA	0,94 aA	0,65	0,75	0,89	0,82 A
	15-25	0,38 aA	0,87 aA	0,63	0,67	0,86	0,77 B
	<i>Média</i>	0,42	0,90		0,70*	0,87*	
	<i>C.V.</i>		7,23			3,25	
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	0,41	1,64	1,03	2,10	1,35	1,73
	5-15	0,90	1,52	1,21	1,77	1,23	1,50
	15-25	0,90	1,31	1,11	3,09	1,11	2,10
	<i>Média</i>	0,74*	1,49*		2,32*	1,23*	
	<i>C.V.</i>		54,04			42,68	
Al <sup>3+</sup> cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	0	0	0	0	0	0
	5-15	0	0	0	0	0	0
	15-25	0	0	0	0,03	0	0,013
	<i>Média</i>	0	0		0,01	0	
	<i>C.V.</i>		-			-	
S cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	17,77 aA	12,30 aB	15,04	12,23 aB	13,27 aA	12,75
	5-15	12,20 bA	9,52 bB	10,86	9,47 bB	12,80 aA	11,14
	15-25	10,95 bA	9,15 bA	10,05	8,75 bB	12,65 aA	10,70
	<i>Média</i>	13,64	10,32		10,15	12,91	
	<i>C.V.</i>		9,56			3,94	
CTC cmolc kg <sup>-1</sup>	0-5	18,20	14,10	16,15 A	14,32 aA	14,62 aA	14,47
	5-15	13,08	11,05	12,07 B	11,25 bB	14,00 aA	12,63
	15-25	11,85	10,50	11,18 B	11,88 bB	13,75 aA	12,82
	<i>Média</i>	14,38*	11,88*		12,48	14,12	
	<i>C.V.</i>		9,63			4,89	
V %	0-5	97,75	87,00	92,38	86,00 aA	90,75 aA	88,38
	5-15	93,00	86,25	89,63	84,50 aA	91,50 aA	88,00
	15-25	92,50	87,50	90,00	73,50 bB	92,00 aA	82,75
	<i>Média</i>	94,42*	86,92*		81,33	91,42	
	<i>C.V.</i>		5,48			6,05	
PST	0-5	1,3 cA	1,0 aA	1,1	1,0 aB	2,0 aA	1,5
	5-15	2,0 bA	1,0 aB	1,5	1,0 aB	2,0 aA	1,5
	15-25	3,0 aA	1,5 aB	2,3	1,0 aB	2,0 aA	1,5
	<i>Média</i>	2,1	1,2		1,0	2,0	
	<i>C.V.</i>		24,05			11,09	

Continua...

**Quadro 2.** Cont.

P Disponível mg kg <sup>-1</sup>	0-5	143,00 aA	20,25 aB	81,62	7,25 aB	123,00 aA	65,12
	5-15	107,75 bA	5,50 aB	56,62	2,50 aB	100,50 bA	51,50
	15-25	3,50 cA	1,50 aA	2,50	2,00 aB	21,50 cA	11,75
	<i>Média</i>	84,75	9,08		3,91	81,66	
	<i>C.V.</i>		25,11			10,24	
N g kg <sup>-1</sup>	0-5	1,65	2,10	1,88 A	1,72 aA	1,16 aA	1,44
	5-15	0,93	1,09	1,01 B	0,90 aA	0,99 aA	0,95
	15-25	0,60	0,77	0,69 C	0,74 aA	0,77 aA	0,76
	<i>Média</i>	1,06*	1,32*		1,12	0,97	
	<i>C.V.</i>		10,14			5,87	
C/N	0-5	15,26	15,47	15,36 B	15,38 <sup>ns</sup>	14,10 <sup>ns</sup>	14,74
	5-15	15,09	15,11	15,10 C	15,47 <sup>ns</sup>	17,11 <sup>ns</sup>	16,29
	15-25	17,40	17,63	17,51 A	13,95 <sup>ns</sup>	18,08 <sup>ns</sup>	16,01
	<i>Média</i>	15,91	16,07		14,93	16,43	
	<i>C.V.</i>		7,75			8,35	
MO g kg <sup>-1</sup>	0-5	28,46	36,12	32,29 A	29,46 aA	19,87 aB	24,67
	5-15	16,05	18,70	17,38 B	15,42 bA	16,87 bA	16,15
	15-25	10,35	13,28	11,82 C	12,68 cA	13,25 cA	12,97
	<i>Média</i>	18,29*	22,70*		19,19	16,66	
	<i>C.V.</i>		10,22			5,88	

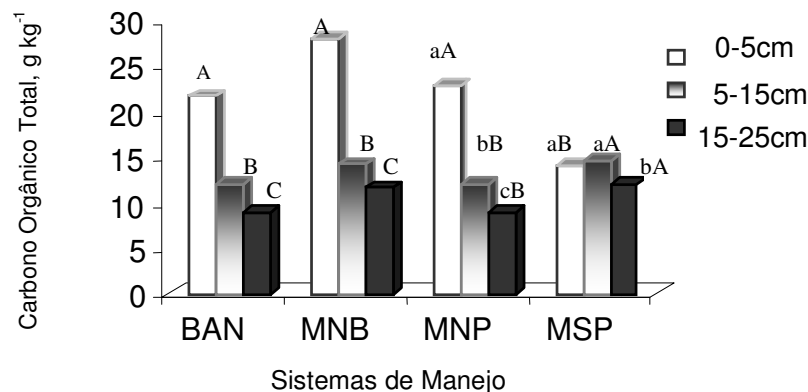
\*Valores diferem estatisticamente pelo teste de F. ns = não-significativo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a, b e c comparam as profundidades da mesma área; A, B e C comparam as áreas.

#### 4.2.1. Carbono Orgânico Total (COT)

O carbono orgânico total (COT) foi afetado pelo tipo de uso do solo e pela profundidade (Figura 1). Os estoques de COT na área BAN foram reduzidos em relação ao solo da mata natural em 22,5, 14,78 e 23,08%, nas três profundidades; similares aos resultados obtidos por Bertol et al., (2004). Segundo Otutumi (2003), citando Leite (2002), mudanças nos sistemas de manejo podem afetar os teores de COT no solo pela alteração do aporte anual de resíduos vegetais e animais e pela modificação da taxa de decomposição da matéria orgânica. A área MSP na camada 0-5 cm apresentou redução de 38,15% em comparação a sua área de mata natural; e acréscimos de 21,66 e 34,83% nas demais profundidades. Vicenzi et al., (2002) também observaram que o solo mantido sob o sistema de produção convencional apresentou uma tendência de aumento nos teores de COT, segundo eles devido ao maior período de cultivo da cultura sob esse manejo, o que confere uma maior incorporação de resíduos. Xavier (2004), observou, na profundidade de 15-30 cm em sistema de cultivo convencional, um incremento nos estoques de COT, justificando que o estoque de matéria orgânica nas camadas abaixo da

profundidade de aração podem ser superiores aos observados em sistemas de cultivo mínimo por meio da mobilização do material orgânico em profundidade provocada pelo implemento agrícola.

A diminuição do teor de matéria orgânica no solo da área natural, segundo Marchiori Júnior & Melo (1999), pode estar relacionada a maior atividade microbiana causada por melhores condições de aeração, temperaturas mais elevadas e alternâncias mais frequentes de umedecimento e secagem do solo. Na área MSP não foram observadas diferenças nos teores de COT entre as profundidades de 0-5 e 5-15 cm, indicando que não houve estratificação no teor de carbono.



**Figura 1.** Teores de carbono orgânico total em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a, b e c comparam as profundidades da mesma área; A, B e C comparam as áreas.

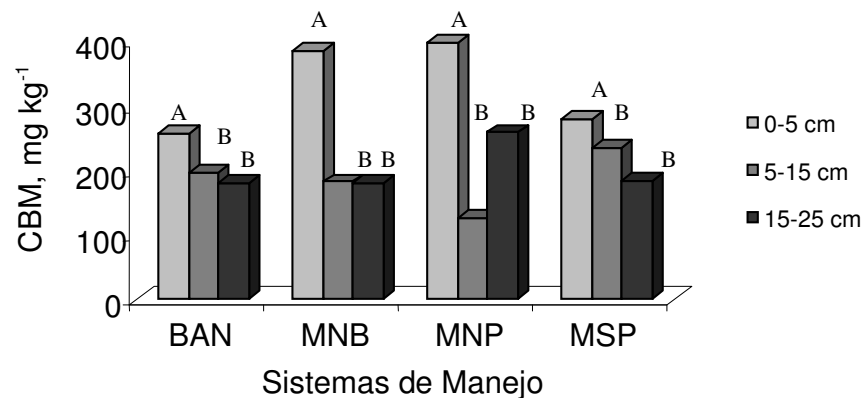
#### 4.3. Caracterização microbiológica do solo

##### 4.3.1. Carbono da biomassa microbiana

Os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) obtidos estão na mesma faixa aos observados por Balota et al. (1998); Insam et al. (1991); Alvarez et al. (1995) e Andrade et al. (1995), sob condições edafoclimáticas diversas. O carbono da biomassa microbiana foi afetado pela profundidade em todas as áreas (Figura 2). Os maiores valores foram observados na profundidade de 0-5 cm, assim como verificado por Ribeiro (2003), Otutumi (2003) e Vargas & Scholles (2000). Os menores valores de CBM foram verificados nos sistemas de cultivo

convencional, assim como constatado por Balota et al. (1998), tanto nas áreas cultivadas como nas áreas testemunhas, a interação profundidade x manejo não foi significativa, assim como apresentado por Rodrigues et al. (1994).

A maior concentração de CBM na primeira profundidade pode ser explicada, conforme Alvarez et al., (1995) pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície, da matéria orgânica biodegradável e de carbono orgânico do solo, pois ao longo do tempo os métodos de preparo do solo interferem tanto na quantidade de COT como na sua distribuição no perfil do solo; além da maior aeração do solo favorável ao desenvolvimento microbiano, segundo Geraldês et al., (1995). A biomassa microbiana é muito sensível às alterações nas formas de COT do solo em função das mudanças no manejo ou uso do solo. Após a alteração ser introduzida, de acordo com Powlson et al., (1987), a biomassa microbiana sofre flutuações até atingir um novo equilíbrio.

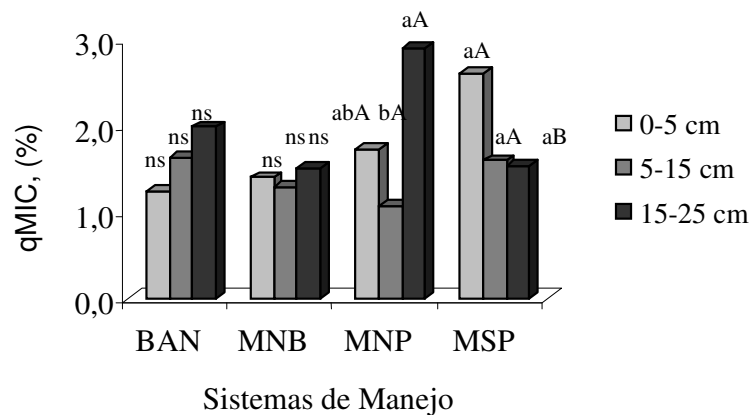


**Figura 2.** Teores de carbono da biomassa microbiana em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: A e B comparam as áreas.

#### 4.3.2. Quociente microbiano

Os valores de quociente microbiano (qMIC) não diferiram entre as áreas BAN e MNB; enquanto que entre as áreas MNP e MSP diferiram apenas na camada de 15-25 cm com valor superior para a área MNP (Figura 3). De maneira geral, os valores apresentados pelas áreas analisadas estão dentro do amplo espectro de variação sugerido por Anderson & Domsch (1989), com valores entre 0,27 a 7%.

De acordo com Anderson & Domsch, (1989), um maior qMIC representa maior ciclagem de nutrientes e, portanto, menor acúmulo de C; enquanto que um menor qMIC representa menor ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, maior acúmulo de C. Além disso, os maiores valores da proporção indicam a maior conversão do COT em CBM de acordo com Marchiori Júnior & Mello (1999). Segundo Balota et al. (1998) o quociente microbiano tem sido considerado como bom indicador das alterações dos processos biológicos no solo. Solos que exibem valores maiores ou menores poderiam expressar a ocorrência, respectivamente, de perda ou acúmulo de C orgânico do solo. Jenkinson & Ladd (1981), por sua vez, citam 2,2% como sendo o nível no qual estaria ocorrendo equilíbrio em parcelas cultivadas.



**Figura 3.** Relação CBM/COT \* 100 (qMIC) em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE. ns = não-significativo pelo teste de F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a e b comparam as profundidades da mesma área; A e B comparam as áreas.

#### 4.3.3. Respiração basal do solo

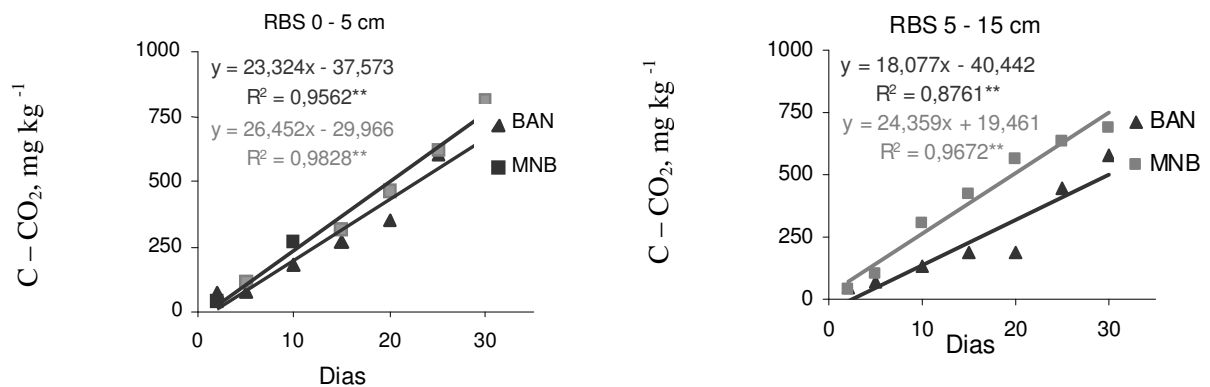
As áreas de mata natural apresentaram maior quantidade de CO<sub>2</sub> liberada em relação às respectivas áreas de bananeira e de rotação milho e soja em todas as profundidades (Figura 4), assim como constatado por Rosa et al. (2003). A maior atividade nas áreas de mata natural, possivelmente, está associada ao tamanho da biomassa microbiana, como pode ser observado na figura 2 onde de, maneira geral, percebe-se que houve uma tendência de maior conteúdo de CBM nas áreas naturais. Além disso, segundo Rosa et al. (2003), as condições de temperatura



interna, umidade e aeração, possibilitadas por menores oscilações destas variáveis no solo sob vegetação natural, podem favorecer a população microbiana.

Regressões lineares, significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, foram encontradas para o acúmulo do dióxido de carbono da respiração da biomassa em função dos dias de avaliação incubação<sup>-1</sup> das amostras de solo para todos os sistemas de manejo avaliados (Figura 4). A potencialidade das curvas (maior ou menor inclinação) foi avaliada a partir dos valores dos coeficientes angulares obtidos em cada situação, assim como no trabalho conduzido por Xavier (2004). A figura 4 indica que as áreas MNB e MNP liberaram maior quantidade de carbono na forma de dióxido em relação às áreas BAN e MSP, respectivamente, confirmando a maior atividade microbiana nas áreas de mata natural.

De modo geral, as curvas que relacionam a produção acumulada de C-CO<sub>2</sub> em função do tempo de incubação do solo, ajustaram-se ao modelo linear, permitindo a visualização de um estágio inicial, segundo Xavier (2004), que indica a utilização da porção lábil do C presente no solo pelos microrganismos. A existência de um segundo estágio, representado pela parte menos inclinada da curva, que indica a utilização do C não lábil ou de menor labilidade, não foi verificada neste estudo, possivelmente porque o tempo de avaliação não foi suficiente para que a biomassa microbiana utilizasse todo o carbono lábil contido no solo.



Continua...

**Figura 4.** Relação entre o C-CO<sub>2</sub> da respiração basal do solo e os dias de avaliação, em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi – CE.

\*\* Modelos matemáticos de regressão significativos a 1% pelo teste F.

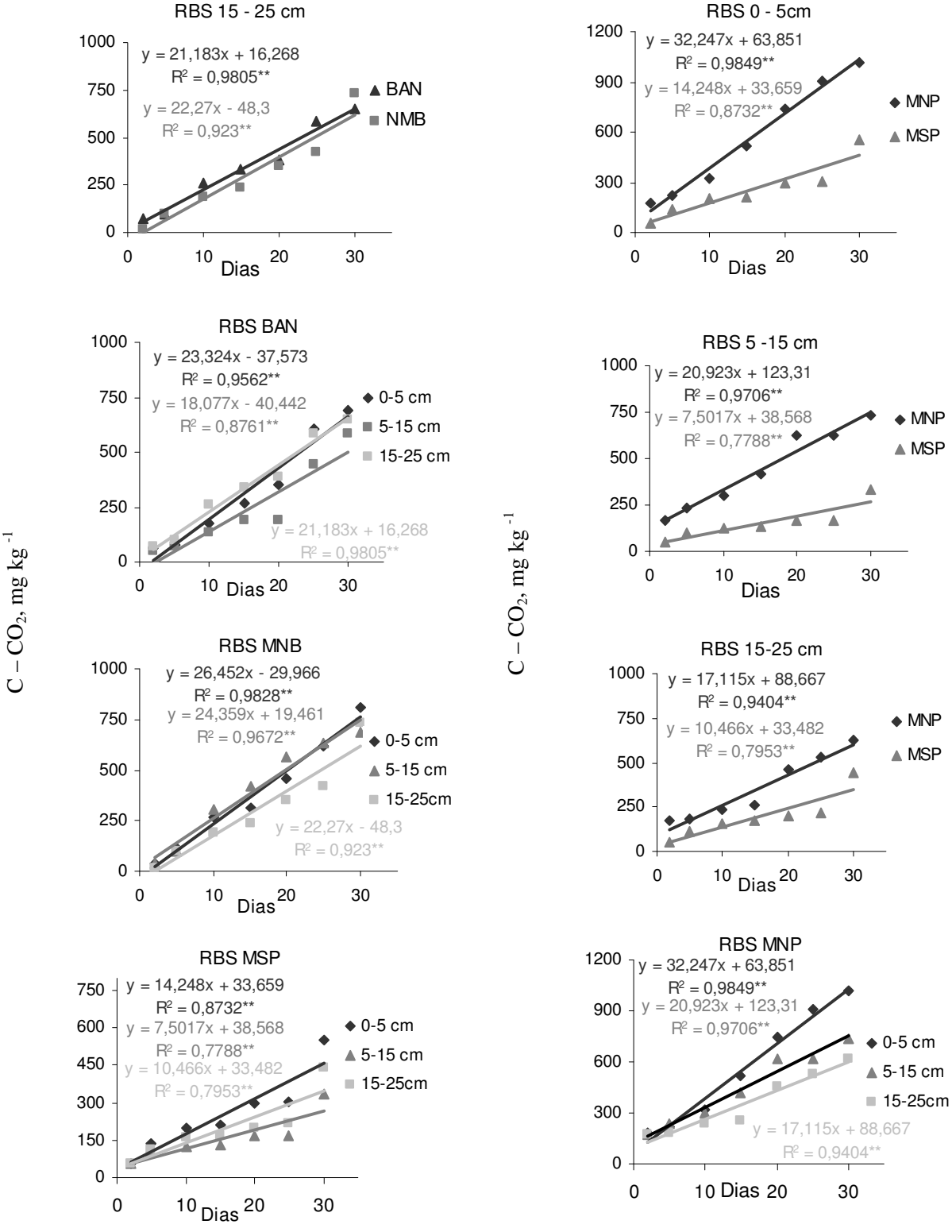


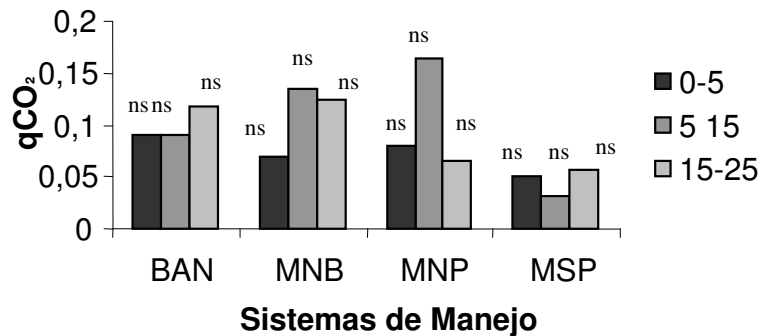
Figura 4. Cont.



#### 4.3.4. Quociente metabólico

Este índice prediz que a biomassa microbiana torna-se mais eficiente a partir do momento que menos carbono é perdido na forma de CO<sub>2</sub> pela respiração, possibilitando assim, uma maior incorporação de carbono aos tecidos microbianos, segundo Tótola & Chaer, (2002), valores mais elevados de qCO<sub>2</sub> indicam maior consumo de carbono prontamente mineralizável, elevando-se as perdas de C (Figura 5).

De maneira geral, as áreas de mata natural apresentaram maior qCO<sub>2</sub>, exceto na profundidade de 0-5 cm para a área MNB. Os menores valores de qCO<sub>2</sub> apresentados pelas áreas cultivadas podem favorecer uma melhor condição de equilíbrio. Na profundidade de 0-5 cm da área BAN, que apresentou valor maior de qCO<sub>2</sub> em relação à MNB, indica influência negativa das práticas de manejo, sugerindo que este índice é sensível às mudanças de carbono causadas pelo manejo.



**Figura 5.** Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi – Ce. ns = não-significativo pelo teste de F.

#### 4.3.5. Fungos micorrízicos arbusculares

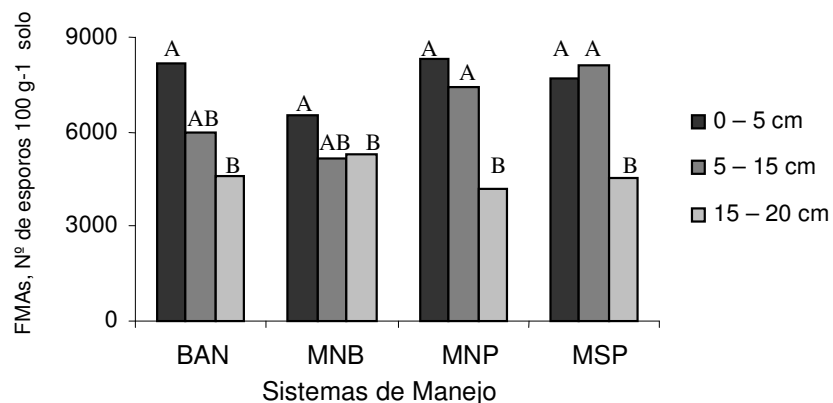
De maneira geral, o número de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), apresentou valores maiores na profundidade de 0-5 cm em todas as áreas estudadas (Figura 6).

A baixa disponibilidade de nutrientes freqüentemente favorece a colonização radicular, indicando que o fungo, ao mesmo tempo em que beneficia o crescimento das plantas, aumenta a atividade metabólica nas raízes. Entretanto, segundo Moreira-Souza & Cardoso (2002), em

situações de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente de P, as plantas tendem a diminuir a colonização, o que não foi observado nas áreas BAN e MSP, as quais apresentaram altos níveis de P disponível.

Conforme Minhoni & Auler (2003), trabalhando com mamoeiro, a presença de FMAs reduz a necessidade de fósforo para a cultura. Assim é possível inferir que a presença de FMAs nas áreas estudadas ainda não é quantitativamente suficiente para suprir a necessidade de fósforo, bem como a dose de fósforo adicionado ao solo não se constituiu fator limitante para o desenvolvimento dos FMAs. Os fungos podem tornar-se parasitas quando associados a doses elevadas de fósforo devido à demanda por carboidratos da planta, conforme Trindade et al., (2000). Segundo o mesmo autor, o comportamento diferenciado dos FMAs quanto à elevação nas doses de P, indica que os isolados nativos são mais adaptados às condições de maior disponibilidade destes nutrientes, refletindo possivelmente, as condições de onde foram isolados; o que pode justificar o comportamento dos FMAs presentes nas áreas cultivadas.

Os principais gêneros encontrados foram: *Gigaspora*, *Glomus* e *Sclerocystis*. Através da técnica de coloração interna radicular foi comprovada a colonização interna radicular das plantas em todas as áreas avaliadas.



**Figura 6.** Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: A e B comparam as áreas.

#### 4.3.6. Atividade enzimática

Marchiori Júnior & Melo (1999), citando Kumari & Singaram (1995), observaram que a atividade enzimática relaciona-se com a fertilidade do solo e que maiores produções de biomassa correlacionaram-se com o aumento na atividade enzimática, mostrando que o aumento da atividade das enzimas possivelmente seja devido ao aumento na mineralização de nutrientes pelos microrganismos do solo. De modo geral esta correlação não foi evidenciada nas análises conduzidas neste experimento, o que sugere uma complexidade e interdependência dos atributos biológicos, químicos e físicos dos solos existentes nos diferentes ecossistemas.

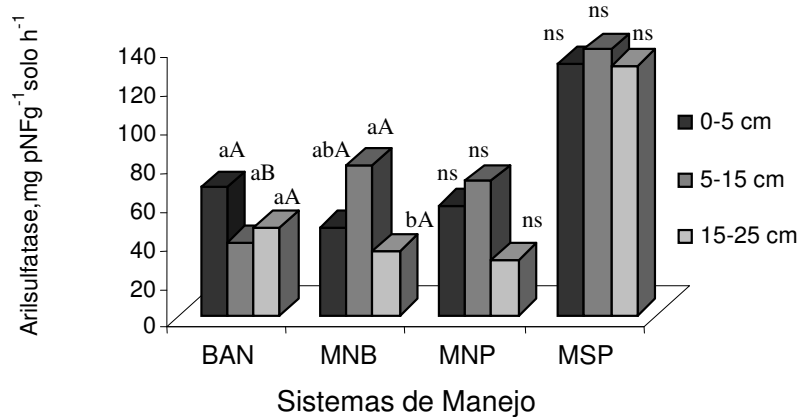
##### 4.3.6.1. Arilsulfatase

A atividade da arilsulfatase variou entre 28,67 a 137,32  $\mu\text{g}$  de pNF  $\text{g}^{-1}$  solo  $\text{h}^{-1}$ , valores estes dentro dos citados por Nogueira & Melo (2003), referindo-se a solos de clima temperado que variaram de 28 a 425  $\mu\text{g}$  de pNF  $\text{g}^{-1}$  solo  $\text{h}^{-1}$  na camada superficial. Esta enzima envolvida no ciclo do enxofre apresenta valores mais expressivos na área MSP (Figura 7). Entre as áreas BAN e MNB houve diferença apenas na profundidade de 5-15 cm, com maiores expressões na área MNB. Nas demais profundidades não existiram diferenças entre as áreas naturais e cultivadas, resultado similar foi obtido por Mendes et al., (2002).

De acordo com esses mesmos autores, os valores elevados de arilsulfatase na área MSP estão relacionados e refletem a estreita relação existente entre a química e a bioquímica dos solos. A elevada atividade deve-se à competição entre os ânions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^-$  pelos mesmos sítios de adsorção dos colóides do solo. Como o ânion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  é adsorvido preferencialmente nesses sítios, ocorre uma deficiência de enxofre, que estimula a produção e a atividade da arilsulfatase. Assim, a alta concentração de P disponível (Quadro 2) promove uma deficiência de enxofre nos primeiros centímetros do solo a qual é compensada pelo estímulo da atividade da arilsulfatase.

Conforme Nogueira & Melo (2003), a atividade da arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica, por constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, que são substratos da enzima. No entanto, de maneira geral, assim como Speir (1984) citado por esses autores, não foi observada correlação entre COT e a atividade de

arilsulfatase, concluindo que cada solo tem sua característica típica de atividade enzimática, que pode ser influenciada por fatores como: grau de evolução da matéria orgânica ou tipo de vegetação que lhe deu origem.



**Figura 7.** Atividade da enzima arilsulfatase em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. ns = não-significativo pelo teste de F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a e b comparam as profundidades da mesma área; A e B comparam as áreas.

#### 4.3.6.2. Fosfatase ácida

Os valores da atividade da enzima fosfatase ácida apresentaram-se superiores na camada superficial, em todas as áreas, exceto na NMP (Figura 8).

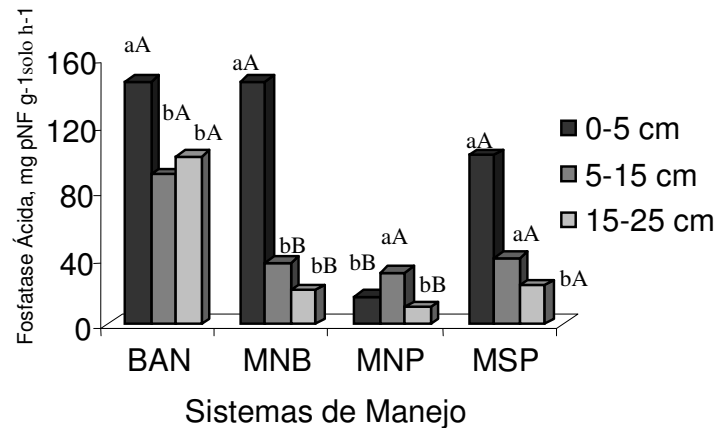
A redução da atividade da fosfatase ácida não foi observada na área BAN, pelo efeito inibidor do uso de adubos fosfatados prontamente solúveis como no trabalho de Mendes et al. (2002). É possível correlacionar a maior atividade da fosfatase ácida na área BAN, pelo fato de que as doses de adubo fosfatado, não terem sido suficientemente altas para inibir a atividade enzimática, como descrito por Fernandes et. al (2000). De acordo com Mendes et al. (2002), os maiores níveis de atividade da fosfatase ácida foram observados na mata natural, devido ao fato de que, como nessas áreas não existiu entrada de fósforo via adubos químicos, toda a ciclagem desse elemento é feita através de processos de solubilização de fontes pouco solúveis e principalmente via mineralização do fósforo da matéria orgânica pelas fosfatases. As áreas MNP e MSP também apresentaram resultados onde os menores valores foram observados na MNP (Mendes et al., 1999; Fernandes et al., 2000).

Os valores elevados da fosfatase ácida também refletem a competição entre os ânions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^-$  pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides do solo. Nas profundidades onde a atividade da arilsulfatase é mais expressiva, ocorre uma atividade menor da fosfatase ácida, como na área MSP (Mendes et al., 1999). A elevada expressão da atividade dessa enzima na profundidade de 0-5 cm da MNB pode indicar a sua importância na mineralização do fósforo orgânico nas áreas sob vegetação natural, onde a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes para o crescimento das plantas (Conte et al., 2002).

Dick (1994) observou reduções nos níveis de atividade da fosfatase ácida de acordo com o aumento do P na solução do solo. No entanto, Matsuoka et al., (2003) observaram que apesar das adubações fosfatadas, as diferenças entre a atividade dessa enzima na linha e entrelinha não foram acentuadas, relacionando o resultado com a aplicação localizada do adubo, fazendo com que o mesmo fique concentrado em locais específicos, diminuindo o efeito inibitório sobre a fosfatase ácida. Assim, como neste trabalho o fósforo disponível e a atividade da fosfatase ácida são elevados nas áreas cultivadas, é possível questionar a forma de adubação utilizada, como citado no trabalho anterior. De maneira geral, fica evidente a dificuldade de estabelecer correlações entre a bioquímica e a química do solo em áreas onde a entrada de nutrientes via adubação é elevada.

As diferenças na textura do solo, também podem influenciar a atividade da fosfatase (Renz, 1997), pois a adsorção de enzimas extracelulares (como a fosfatase) à partículas de argila é um importante mecanismo de estabilização e proteção contra proteases existentes na solução do solo. Este resultado foi apresentado em pesquisa conduzida em solo do Cerradão de Primavera (LV franco-argiloso) e do Cerradão do Distrito Federal (LE argiloso), com valores de atividade da fosfatase ácida na área de Primavera do Leste menores que os reportados por Mendes & Vivaldi (2001) numa área do Distrito Federal.





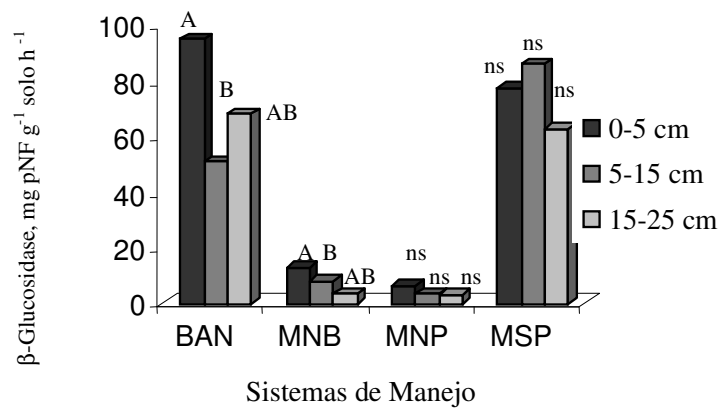
**Figura 8.** Atividade da enzima fosfatase ácida em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a e b comparam as profundidades da mesma área; A e B comparam as áreas.

#### 4.3.6.3. $\beta$ - glucosidase

A  $\beta$  - glucosidase apresentou atividades maiores nas áreas BAN e MSP (Figura 9). Nas áreas de mata natural observa-se um decréscimo na atividade com o aumento da profundidade. As maiores atividades na profundidade de 0-5 cm estão relacionadas ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo. Na área BAN a profundidade 5-15 cm apresentou valor inferior às demais, enquanto que na área MSP, esta mesma profundidade, apresentou valor superior às demais profundidades desta área (Kudo et al., 2002).

A  $\beta$  - glucosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, hidrolisando os resíduos de celobiose (Tabatabai, 1994). Como a celobiose é um dissacarídeo de rápida decomposição no solo, a maior atividade observada nas áreas agrícolas, provavelmente está relacionada à quantidade e à qualidade do resíduo vegetal que é retornado ao solo. Nas áreas naturais, a maior diversidade de espécies de plantas, contribui para que o resíduo orgânico (galhos, ramos, folhas, flores, frutos e sementes), que retorna ao solo, seja mais complexo, o que explica as baixas atividades da  $\beta$  - glucosidase observadas nessas áreas, uma vez que outras enzimas (celulases e ligninases) também participam dos processos de decomposição desses resíduos. Levando-se em consideração que as plantas também constituem

fontes de enzimas para o solo é possível que a contribuição das plantas cultivadas influenciem nesse aspecto (Mendes et al., 2002). Além disso, na área MSP o plantio da soja sobre os restos culturais do milho, pode ter proporcionado maior atividade desta enzima (Matsuoka et al., 2003).



**Figura 9.** Atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase em amostras de solo, sob diferentes sistemas de manejo na Chapada do Apodi - CE. ns = não-significativo pelo teste de F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: A e B comparam as áreas.

## 5. CONCLUSÕES

- ↪ Observou-se um movimento de argila em profundidade nas áreas BAN e MNP;
- ↪ Os riscos potenciais de salinidade e de saturação por sódio são desprezíveis. As práticas de manejo reduziram o nitrogênio e o carbono orgânico total no solo das áreas BAN e MSP;
- ↪ O carbono da biomassa microbiana e a população de fungos micorrízicos arbusculares, apresentaram valores decrescentes com o aumento da profundidade nas áreas BAN e MSP; no entanto, não foi observada diferença significativa quanto às suas matas naturais;
- ↪ A respiração basal do solo, de maneira geral, nas áreas de mata natural foi maior que nas áreas cultivadas;
- ↪ A atividade da arilsulfatase não diferiu entre as áreas BAN e MNB; enquanto que na área MSP apresentou valores superiores à MNP;
- ↪ A atividade da fosfatase ácida foi maior nas áreas BAN e MSP;
- ↪ Para a  $\beta$ -glucosidase, houve uma maior atividade nas áreas BAN e MSP;

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, A.S & SCHLESINGER, W.H. Nutrient limitations to microbial biomass and activity in loblolly pine forests. *Soil Biol. Biochem.*, 36: 859-868, 2004.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, 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.*, 33: 17-28, 1995.
- ANDERSON, J. P. & DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 10: 215-221, 1978.
- ANDERSON, J. P. & DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 21: 471-479, 1989.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; PAVAN, M. A.; BALOTA, E. L. & CHAVES, J. C. D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 19: 191-196, 1995.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22: 641-649, 1998.
- BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. & ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28: 155-163, 2004.

- BEZDICEK, D. F. Development and evaluation of indicators for agroecosystem health. Agriculture in Concert with the Environment ACE Research Projects Western Region, 1996. p. 1991-1995.
- CEARÁ. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Ciência do Solo. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. 1 ed. Fortaleza: UFC, 1993. 246p.
- CHAER, G. M.; BORGES, A. C. & TÓTOLA, M. G. Indicadores microbiológicos na avaliação da qualidade do solo em sistemas de manejo de eucalipto. In: FERTBIO 2002: Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado, Rio de Janeiro, 2002. Anais.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:952-930, 2002.
- CPMR, Serviço geológico do Brasil. In: ATLAS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO CEARÁ. Fortaleza: Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, 1999. CD-ROM.
- DICK, R. P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DIRAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Sci. Soc. Am.: 107-124, 1994. (Special Publication, 35).
- EMBRAPA. Manual de métodos e análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documento, 1).
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. & SILVA, E. M. R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. Flor. Amb., n.1, p. 104-113, jan/dez, 2001.
- FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. & CERRI, C.C. Soil microbial biomass in amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. Soil Biol. Biochem., 27: 1467-1472, 1995.
- FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E. & CURI, N. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. R. Bras. Ci. Solo, 24: 561-571, 2000.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23: 991-996, 1999.

- GAMA-RODRIGUES, E. F. da. & DE-POLLI, H. Biomassa na ciclagem de nutrientes. In: FERTBIO 2000: Biodinâmica do solo, Santa Maria, RS, 2000. Anais.
- GERDEMANN, J. W. & NICHOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal *Endogone* extracted from soil by wetsieving and decanting. *Transact. Brit. Mycol. Soc.*, 46: 235-244, 1964.
- GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C & FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:55-60, 1995.
- HOLMES, W.E & ZAK, D.R. Microbial biomass dynamics and net nitrogen mineralization in northern hardwood forests. *Soil Sci. Am. Journ.* 58: 238-243, 1994.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agric. Ecosys. Environ.*, 79: 9-16, 2000.
- INSAM, H.; MITCHELL, C. C. & DORMAAR, J. F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. *Soil Biol. Biochem.*, 23: 459-464, 1991.
- IPLANCE. Perfil básico municipal: Limoeiro do Norte. Fortaleza: Edições IPLANCE, 2000.
- JANOS, D.P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland rainforest plant growth. *Ecol.*, 61: 151-162, 1983.
- JENKINSON, D. S. & LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A. & LADD, J.N., eds., *Soil Biol. Biochem.*, 5: 415-417, 1981.
- JENKINSON, D.S. & POLWSON, D.S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8: 209-213, 1976.
- KUDO, A. S.; PAULA, M. S.; MENDES, I. C. & REIS JÚNIOR, F. B. dos. Atividade intracelular e extracelular das enzimas  $\beta$ -glucosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo. In: FERTBIO 2002: Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado, Rio de Janeiro, 2002. Anais.
- KUMARI, K. K. & SINGARAM, P. Relationship among soil chemical, biochemical properties and enzyme activities. *Madras Agric. J.*, 82: 69-70, 1995.
- LEITE, L. F. C. Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo Century. Viçosa, UFV, 2002. 142 p. (Tese de Doutorado).
- LEITE, L. F. C.; MATOS, E. S & MENDONÇA, E. S. Carbono, nitrogênio e biomassa microbiana em solo sob mata natural, e diferentes sistemas de adubação e consórcio milho-feijão. In: FERTBIO 2000: Biodinâmica do solo, Santa Maria, RS, 2000. Anais.

- LIMA, D. de A. Plantas das Caatingas. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1989. 243 p.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. R.Bras. Ci. Solo, 23: 257-263, 1999.
- 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). R. Bras. Ci. Solo, 27: 425-433, 2003.
- MEDEIROS, M. L. de. Carbono orgânico extraído por soluções de  $KNO_3$ ,  $K_2SO_4$  e  $NaHSO_4$  e sua relação com outras formas de carbono do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 56p. (Tese de Mestrado).
- MENDES, I. C.; CARNEIRO, R. G.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. & VARGAS, M. A. T. Biomassa e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. Embrapa Cerrados, n.5, 1999. 5p.
- MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. dos. & PEREIRA NETO, J. V. Uso de indicadores biológicos e bioquímicos para avaliar a qualidade de solos de cerrado sob plantio direto e convencional. In: FERTBIO 2002: Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado, Rio de Janeiro, 2002. Anais.
- MENDES, I. C. & VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J. F.; SILVA, J. C. S. & LAZARINI, C. E., eds. Conservação e recuperação da biodiversidade das Matas de Galeria do bioma Cerrado. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2001. p. 665-687.
- MENDONÇA, E. S. & OLIVEIRA, F. H. T. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1º., Campos Gerais, 2000. Anais. Campos Gerais, Associação de Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 70-81.
- MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 2ª ed. Porto Alegre, Gênese, 2004. 290p.
- 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. R. Bras. Ci Solo, 27: 841-847, 2003.
- MONTEIRO, M. T. & GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Utilização da atividade, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana da serapilheira na avaliação de ecossistemas florestais da região norte fluminense. . In: FERTBIO 2000: Biodinâmica do solo, Santa Maria, RS, 2000. Anais.

- MOREIRA-SOUZA, M. & CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucária angustifolia* (Bert) O. Ktze. sob doses de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 26: 905-912, 2002.
- 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. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2004. (Dissertação de Mestrado).
- NOGUEIRA, M. A. & MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 27: 655-663, 2003.
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 25: 863-871, 2001.
- OTUTUMI, A. T. Qualidade do solo em sistemas de cultivo agroecológicos, no município de Tauá-Ce. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2003. 54p. (Dissertação de Mestrado).
- PAUL, E.A.; HARRIS, D.; COLLINS, H.P.; SCCHULTHESS, U. & ROBERTSON, G.P. Evolution of CO<sub>2</sub> and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. Appl. Soil Ecol., 11:53-65, 1999.
- PHILLIPS, J. M. & HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the Brit. Mycol. Soc., London, 55: 158-161, 1970.
- POUYÚ-ROJAS, E. & SIQUEIRA, J.O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, n.1, p. 103-114, 2000.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C. & CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biochem., 19: 159-164, 1987.
- RENZ, T. Influence of land use on microbial parameters and phosphatase activity in Cerrado oxisols. Bayreuth, University Bayreuth, 1997. 72p. (Tese de Mestrado)
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C. & SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos do solo arenoso sob sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22: 713-721, 1998.
- RIBEIRO, K. A. Propriedades químicas, físicas e biológicas do solos influenciadas por sistemas de manejo na cultura do cajueiro anão-precoce no Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2003. 52p. (Dissertação de Mestrado).
- RODRIGUES, E. F. G.; GUERRA, J. G. N.; ALMEIDA, D. L. & DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. R. Bras. Ci. Solo, 18: 427-432, 1994.



- ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M. & CORREIA, J. R. Formas de carbono em latossolo vermelho euférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 911-923, 2003.
- SAKAMOTO, K. & OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO<sub>2</sub> evolution and total soil microbial biomass. *Biol. Fertil. Soils*, 17:39-44, 1994.
- SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J. & VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 593-602, 1999.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas: perspectivas e desafios para o século XXI. In: XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, 1999. Anais. Brasília. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1999.
- SIQUEIRA, J. O. & MOREIRA, F. M. S. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.
- SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO, M. R. & OLIVEIRA, L. B. Caracterização e classificação de solos tiomórficos da várzea do rio Coruripe, no estado de Alagoas. *R. Bras. Ci. Solo*, 25: 977-986, 2001.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, 30: 195-207, 1992.
- SPARLING, G. P. & WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and 14 C labeled cells. *Soil Biol. Biochem.*, 20: 337-343, 1988.
- SPEIR, T. W. Urease, phosphatase and sulphatase activities of Cook Island and Tongan soils. *N.Z.J. Sci.*, 27: 73-79, 1984.
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Soil Plant Sci.*, 49: 1-24, 1999.
- STEVENSON, B.A.; SPARLING, G.P.; SCHIPPER, L.A., DEGENS, B.P. & DUNCAN, L.C. Pasture and Forest soil microbial communities show distinct patterns in their catabolic respiration responses at a landscape scale. *Soil Biol. Biochem.*, 36: 49-55, 2004.
- TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A. & BOTTOMELEY, P.J., eds. *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.777. (Special Publication, 5).
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba, Livraria e editora agropecuária, 1997. 247p.

- TÓTOLA, M. R. & CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Tópicos em Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.2, julho, 2002. p. 195-276.
- TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O. & ALMEIDA, F. P. Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares em solo não fumigada, para mamoeiro. R. Bras. Ci. Solo, 24: 505-513, 2000.
- VANCE, E. D., BROOKES, P. C. & JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem., 19:703-707,1987.
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 24:35-42, 2000.
- VICENZI, M.; CASTILHOS, D. D.; FACHINELLO, J. C.; SANTOS, V. B. & SILVA, D. G. Biomassa e atividade microbiana em sistemas de produção integrada (PI) e convencional (PC) na cultura de pêssego. In: FertBio 2002: Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado, Rio de Janeiro, 2002. Anais.
- XAVIER, F. A. S. Compartimentos da matéria orgânica do solo em sistemas agrícola convencional e orgânico na região da Chapada da Ibiapaba-Ce. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2004. 71p. (Dissertação de Mestrado).
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M., A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19: 1467-1476, 1988.
- WARDLE, D.A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. Func. Ecol., 7: 346-355, 1994.

## **ANEXOS**

**Quadro 1A.** Teores de carbono orgânico total das amostras de solo coletadas em diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi – CE. Médias de 4 repetições.

Propriedade	Prof. (cm)	Sistemas de Manejo					
		BAN	MNB	Média	MNP	MSP	Média
COT g kg <sup>-1</sup>	0-5	21,70	28,00	24,85 A	22,80 aA	14,10 aB	18,45
	5-15	12,10	14,20	13,15 B	12,00 bB	14,60 aA	13,30
	15-25	9,00	11,70	10,35 C	8,90 cB	12,00 bA	10,45
	<b>Média</b>	14,27*	17,97*		14,57	13,57	
	<b>C.V.</b>	12,68		5,64			

\*Valores diferem estatisticamente pelo teste de Fisher. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a, b e c comparam as profundidades da mesma área; A, B e C comparam as áreas.

**Quadro 2A.** Propriedades microbiológicas das amostras de solo coletadas em diferentes sistemas de manejo, na Chapada do Apodi - CE. Médias de 4 repetições.

Propriedade	Prof. (cm)	Sistemas de Manejo					
		BAN	MNB	Média	MNP	MSP	Média
CBM mg kg <sup>-1</sup>	0-5	258,85	385,28	322,06 A	397,93	281,30	339,61 A
	5-15	197,68	182,10	189,89 B	126,70	234,28	180,49 B
	15-25	179,70	179,93	179,81 B	259,70	183,60	221,65 B
	<b>Média</b>	212,07	249,10		261,44	233,06	
	<b>C.V.</b>	33,06		35,67			
qMIC %	0-5	1,25 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	1,32	1,74 abA	2,61 aA	2,17
	5-15	1,63 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	1,46	1,07 bA	1,60 aA	1,33
	15-25	1,99 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	1,75	2,90 aA	1,53 aB	2,21
	<b>Média</b>	1,62	1,40		1,90	1,92	
	<b>C.V.</b>	47,46		38,35			
FMAs Nº de esporos 100g <sup>-1</sup> solo	0-5	8161,00	6542,25	7351,62A	8345,75	7715,25	8030,50 A
	5-15	5951,25	5159,25	5555,25AB	7399,00	8092,00	7745,50 A
	15-25	4574,75	5287,50	4931,12B	4196,25	4504,50	4350,37 B
	<b>Média</b>	6229,00	5663,00		6647,00	6770,58	
	<b>C.V.</b>	26,07		23,25			
Arilsulfatase µg pNF g <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>	0-5	66,22 aA	45,54 abA	55,88	56,30	130,40	93,35
	5-15	37,80 aB	78,00 aA	57,90	69,31	137,32	103,31
	15-25	45,65 aA	33,07 bA	39,36	28,67	129,25	78,96
	<b>Média</b>	49,89	52,20		51,42*	132,32*	
	<b>C.V.</b>	39,47		25,79			
Fosfatase Ácida µg pNF g <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>	0-5	146,49 aA	145,91 aA	146,20	17,04 bB	52,92 aA	34,98
	5-15	90,16 bA	37,45 bB	63,80	31,03 aA	39,82 aA	35,42
	15-25	101,43 bA	20,53 bB	60,98	10,12 bB	23,28 bA	16,70
	<b>Média</b>	112,69	67,96		19,39	38,67	
	<b>C.V.</b>	16,81		24,26			
β- Glucosidase µg pNF g <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>	0-5	94,95	12,88	53,91 A	6,07	77,56	41,81
	5-15	50,72	7,96	29,34 B	3,36	86,06	44,71
	15-25	67,90	3,33	35,61 AB	3,23	62,90	33,06
	<b>Média</b>	71,19*	8,05*		4,22*	75,50*	
	<b>C.V.</b>	39,61		25,68			

\*Valores diferem estatisticamente pelo teste de F. ns = não-significativo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey: a e b comparam as profundidades da mesma área; A e B comparam as áreas.

Ficha Catalográfica elaborada na seção de processos técnicos da Biblioteca Setorial de Fortaleza – CCA/UFC.

F464i

Fialho, Jamili Silva.

Indicadores da qualidade do solo em sistemas agrícolas anuais e perenes na Chapada do Apodi - Ceará/ Jamili Silva Fialho – Fortaleza: 2005.  
59f.; il.

Orientadora: Vânia Felipe Freire Gomes, D. Sc.

Dissertação (Mestrado) em Solos e Nutrição de Plantas – Universidade Federal do Ceará.

1. Qualidade do Solo - 2. Indicadores - 3. Sistemas Agrícolas I. Título.

CDD: 631.4

CDU: 622.011.4