

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLO CULTIVADO NA CHAPADA DO APODI – CE¹

JAMILI SILVA FIALHO², VÂNIA FELIPE FREIRE GOMES³, JOSÉ MARIA TUPINAMBÁ DA SILVA JÚNIOR^{4*}

RESUMO - Este trabalho avaliou as alterações no número de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e na atividade enzimática em solo cultivado com bananeiras na Chapada do Apodi. Testou-se a hipótese de que o uso agrícola causa alterações ambientais que reduzem a presença da população de FMA e a atividade microbiana. Selecionou-se uma área sob condições de cultivo de bananeiras (Fazenda Frutacor) e como controle solo sob mata natural. Coletaram-se quatro amostras de solo em três profundidades e analisou-se o número de esporos de FMA, pela técnica de peneiramento úmido de Gerdemann e Nicholson (1964) e a atividade das enzimas do solo: fosfatase ácida, arilsulfatase e b-glucosidase, segundo Tabatabai (1994). O número de esporos de FMA apresentou valores decrescentes com o aumento da profundidade na área cultivada. A atividade das enzimas arilsulfatase e fosfatase ácida foram estimuladas pela competição dos ânions $H_2PO_4^-$ e SO_4^- pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides do solo. Para a enzima b-glucosidase, houve uma maior atividade na área cultivada, influenciada pela quantidade e qualidade do resíduo vegetal. Nas áreas que apresentam entrada de nutrientes elevada, a atividade enzimática evidencia dificuldade de estabelecer correlações entre a bioquímica e a química do solo.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Indicadores biológicos. Alterações ambientais.

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND ENZYMATIC ACTIVITY IN SOIL CULTIVATED OF THE CHAPADA OF APODI – CE

ABSTRACT - This paper has evaluated the alterations in the number of spores of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and enzymatic activity in soil under cultivation of banana trees in Chapada of Apodi. The hypothesis was tested that the agricultural use causes environmental alterations that they reduce the presence of population of AMF and the microbial activity. An area was selected under cultivation of banana trees (Farm Frutacor) and its control (natural vegetation). Four soil samples were collected in three depths in which analyses were accomplished, the number of spores of AMF by Gerdemann and Nicholson (1964) and enzymatic activity: acid phosphatase, arylsulphatase and b-glucosidase by Tabatabai, (1994). The number of spores of AMF show values decreasing with the rise in depth in area cultivated. The activity of the arylsulphatase and acid phosphatase were stimulated by the competition of the anions $H_2PO_4^-$ and SO_4^- for the same ranches of adsorption in the colloids of the soil. For b-glucosidase, there was a larger activity in the cultivated area, influenced by the amount and quality of the vegetable residue. The enzymatic activity evidences a difficulty of establishing correlations between the biochemistry and chemistry of the soil in area where the entrance of nutrients is high.

Keywords: Quality soil. Biology indicators. Environmental alterations.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 20/09/2009; aceito em 02/01/2011.

Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará - UFC

²Universidade Estadual do Ceará, Campus da FECLESC, rua Epitácio Pessoa, 2554, 63900-000, Quixadá - CE; jamilifialho@yahoo.com.br

³Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciência do Solo, Campus do Pici - Bloco 807, 60.021-970, Fortaleza - CE; vaniafreire@ufc.br

⁴Faculdade de Tecnologia Centec – FATEC Sertão Central, av. Geraldo Bizarria de Carvalho, s/n, km 2, 63.800-000, Quixeramobim - CE; junior_tupinamba@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Uma conscientização crescente sobre qualidade ambiental vem sendo propagada na sociedade resultante da necessidade de preservação ambiental. Uma maneira de avaliar o impacto ambiental de uma dada cultura em uma região pode ser feito através da análise da qualidade do solo.

A qualidade do solo é a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para produtividade de plantas e animais, de manter ou aumentar a qualidade da água e ar e promover a saúde humana (TÓTOLA; CHAER, 2002). Entender e conhecer a qualidade do solo possibilita manejá-lo de forma ótima no presente sem degradá-lo para uso futuro. Pelo monitoramento das mudanças na qualidade do solo, pode-se determinar se as práticas empregadas garantirão a sustentabilidade da exploração do agroecossistema.

O solo é um habitat que possibilita interação de diversos organismos, caracterizando-se por apresentar complexidade biológica que resulta em equilíbrio ecológico. Portanto, os organismos edáficos podem representar uma importante variável na avaliação da qualidade do solo.

O manejo inadequado e intensivo do solo pode ocasionar um estado de degradação que, se reversível, requer muito tempo e recurso para recuperação. Assim, faz-se necessário monitorar solos manejados visando à preservação da qualidade, para proporcionar produção contínua. Os indicadores são utilizados como ferramentas deste monitoramento. O banco de dados dos indicadores físicos e químicos possibilita padronizar valores ideais para suas propriedades; isso não acontece com os indicadores biológicos. Ademais, na região nordeste, métodos como a quantificação da atividade enzimática edáfica são pouco utilizados.

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) formam associação benéfica com raízes da maioria das plantas e têm ocorrência generalizada nos ecossistemas terrestres. Para verificar a ocorrência e quantificar a presença dos FMA são necessários procedimentos como: avaliação microscópica das raízes quanto à presença do fungo e estruturas típicas, extração e separação dos esporos do solo, cuja presença é indicativo da ocorrência de associação no ecossistema e bioensaio para determinação da infestação do solo e do número mais provável de esporos no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As enzimas presentes no solo são potenciais indicadores biológicos devido ao seu relacionamento com a atividade biológica (TABATABAI, 1994), a facilidade de determinação e a resposta rápida às mudanças no manejo (DICK, 1994). A determinação da atividade de enzimas no solo é uma maneira de se medir a atividade microbiana, indicando mudanças ocorridas na microbiota do solo, sem, entretanto, relacioná-las a algum grupo de organismo

(ANDRADE; SILVEIRA, 2004). Vários trabalhos demonstram o grande potencial das análises enzimáticas, como indicadores sensíveis para detectar diferenças e mudanças em função da influência antrópica.

Os procedimentos para determinação das enzimas são simples quando comparados com procedimentos analíticos para quantificação de nutrientes na análise de solo de rotina.

Estudos relativos ao monitoramento das características microbiológicas e propriedades bioquímicas do solo são importantes para avaliar o impacto das práticas agrícolas empregadas e suprir a ausência de dados sobre o solo; além de sinalizar se o manejo empregado é adequado ao ambiente, visando à conservação da qualidade do solo e a produtividade agrícola.

Assim, objetivou-se avaliar as alterações microbiológicas e bioquímicas do solo, sob vegetação natural e cultivado com bananeiras na região da Chapada do Apodi, para testar a hipótese de que a atividade agrícola causa alterações ambientais que reduzem o número de esporos de FMA e a atividade microbiana do solo, em relação à área sob vegetação natural.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado na pesquisa foi coletado em áreas da Chapada do Apodi, Limoeiro do Norte - CE que está inserida na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe e caracteriza-se pela predominância de Cambissolos Latossólicos Eutróficos. 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 caducifolia espinhosa) e arbustiva densa, com trechos mais arbóreos e espinhosos, com diversos graus de densidade (CPMR, 1999).

Área sob cultivo de bananeiras (BAN): área comercial situada na Fazenda Frutacor possuindo 3,75 ha, sendo cultivada com a cultura de bananeira prata anã desde 1998. No preparo da área, utilizaram-se: gradagem cruzada, subsolagem, aração, sulcamento e roçagem. Normalmente, os restos culturais são utilizados como cobertura morta; além de herbicida e pulverizações anuais para o controle do fungo *Mycosphaerella musicola* Leach (*Pseudocercospora musae* (Zimm.) Deighton causador da sigatoka amarela. O sistema de irrigação empregado é por microaspersão diária e localizada na fileira dupla. Após 60 dias da adubação de fundação (1.700 kg de cloreto de potássio ha⁻¹ ano⁻¹ e 20 ton de matéria orgânica na forma de esterco bovino e caprino) ocorreu a fertirrigação (100 g de N planta⁻¹, 200 g de K planta⁻¹, 20 L de esterco e 200 g de MAP. Planta⁻¹). O espaçamento entre plantas é de 2,4 m, entre fileiras é de 2,0 m e entre as fileiras duplas 4,0 m.

Área sob mata natural (MN): área sob vegetação natural 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.

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades: 0 - 5, 5 - 15 e 15 - 25 cm. Para cada profundidade foram coletadas quatro amostras compostas oriundas de quatro amostras simples homogeneizadas.

Como indicadores biológicos foram utilizados as propriedades: número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, pelo procedimento do peneiramento úmido proposto por Gerdemann e Nicholson (1964) e a atividade das enzimas do solo: fosfatase ácida, arilsulfatase e b-glucosidase, segundo Tabatabai (1994), no qual a determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado ocorre quando 1 g de solo é incubado por 1 h a 37 °C com uma solução tamponada contendo substratos incolores, específicos para cada enzima. Foram realizadas análises das propriedades físicas e químicas do solo segundo Embrapa (1997).

As análises microbiológicas e bioquímicas foram realizadas nos laboratórios de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará e de Matéria Orgânica do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

O experimento foi analisado considerando-se um delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as áreas 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 as médias comparadas de pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias referentes às propriedades físicas (granulometria, grau de floculação, umidade a 0,033 e 1,5 Mpa e água útil) avaliadas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Observam-se poucas diferenças texturais entre as áreas, predominando a classe textural franco-argilo-arenosa. A variável argila apresentou diferença estatística somente na profundidade de 0-5 cm, expressando teores superiores na mata natural e revelando uma maior quantidade de cargas permanentes no solo sob mata, nas camadas superficiais, o que pode ter contribuído com uma maior adsorção de nutrientes e compostos orgânicos nesse ambiente.

Borges et al. (1999) encontrou maiores valores do teor de argila em solos de mata nativa do que naqueles cultivados com banana na região do Recôncavo baiano. Dados obtidos por Souza et al. (2006) que avaliaram atributos físicos em sistemas de co-

lheita de cana-de-açúcar e mata natural corroboram com os resultados encontrados nesse trabalho para a variável argila.

A propriedade grau de floculação não foi influenciada pelas práticas de manejo, apresentando valores estatisticamente iguais. A umidade a 0,033 MPa e a água útil demonstraram-se maiores, de modo geral, na área BAN. Argenton et al. (2005) obteve resultado semelhante quando a umidade em mata nativa foi menor que área de plantio convencional. No entanto na área MN apesar da menor umidade, ocorreu incremento no conteúdo de argila com o aumento da profundidade promovendo efeito positivo na retenção de água, como também foi observado por Beutler et al. (2002).

As médias referentes às propriedades químicas dos solos são apresentadas na Tabela 2.

De acordo com as recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará (CEARÁ, 1993), a área BAN caracteriza-se por apresentar uma alcalinidade de baixa à média. A área MN caracteriza-se por apresentar uma acidez baixa tendendo a neutralidade.

A condutividade elétrica (CE) não diferiu entre as áreas estudadas e os valores indicam baixa concentração de sais solúveis, caracterizando as áreas como isentas de riscos potenciais de salinidade (EMBRAPA, 1999). Os teores de cálcio e magnésio foram considerados altos nas áreas o que advém da origem calcária desses solos (CEARÁ, 1993). No entanto, observa-se que os valores de magnésio são superiores nas duas profundidades iniciais da área BAN, o que pode estar relacionado ao fornecimento de nutrientes pela adubação realizada.

O sódio do complexo de troca apresentou baixos teores nas duas áreas não conferindo ao solo caráter solódico ou sódico (EMBRAPA, 1999).

Os níveis de potássio não diferem, estatisticamente, entre as áreas, apresentando teores altos resultantes da expressiva presença de mica no solo. A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) não difere significativamente entre as profundidades, apresentando valores superiores na área de mata natural. A acidez trocável (Al^{3+}) não foi detectada.

A soma de bases tendeu a diminuir com a profundidade. Observa-se uma diferença entre as profundidades de 0-5 e 5-25 cm com valores superiores na área BAN, provavelmente devido à adubação.

A CTC não diferiu estatisticamente entre as áreas, no entanto, observaram-se valores superiores na primeira profundidade, o que pode estar correlacionado ao maior teor de matéria orgânica nesta profundidade (MEURER, 2004).

De acordo com a saturação de bases (V%) estes solos são considerados eutróficos (férteis). A porcentagem de sódio trocável (PST), de modo geral, apresenta diferença significativa entre as áreas, exceto na profundidade de 0-5 cm. Os valores apresentados estão muito abaixo de 15% quantidade, segundo Meurer (2004), utilizada como referencial na classi-

Tabela 1. Média das propriedades físicas das amostras de solo coletadas sob cultivos de bananeiras e mata natural, na Chapada do Apodi – CE.

| Propriedade | Profundidade (cm) | Área | | Média |
|--|-------------------|----------------------|----------------------|--------|
| | | Bananeira | Mata natural | |
| Areia grossa (g kg ⁻¹) | 0-5 | 355,00 aB | 387,50 aA | 371,25 |
| | 5-15 | 335,00 aA | 340,00 bA | 337,50 |
| | 15-25 | 255,00 bB | 317,50 bA | 286,25 |
| | Média | 315,00 | 348,33 | |
| | C.V. | 4,70 | | |
| Areia fina (g kg ⁻¹) | 0-5 | 207,50 ^{ns} | 205,00 ^{ns} | 206,25 |
| | 5-15 | 207,50 ^{ns} | 227,50 ^{ns} | 217,50 |
| | 15-25 | 177,50 ^{ns} | 190,00 ^{ns} | 183,75 |
| | Média | 197,50 | 207,50 | |
| | C.V. | 8,41 | | |
| Silte (g kg ⁻¹) | 0-5 | 265,00 aA | 177,50 aB | 221,25 |
| | 5-15 | 212,50 aA | 175,00 aA | 193,75 |
| | 15-25 | 240,00 aA | 212,50 aA | 226,25 |
| | Média | 239,17 | 188,33 | |
| | C.V. | 16,77 | | |
| Argila (g kg ⁻¹) | 0-5 | 172,50 cB | 230,00 aA | 201,25 |
| | 5-15 | 245,00 bA | 257,50 aA | 251,25 |
| | 15-25 | 327,50 aA | 280,00 aA | 303,75 |
| | Média | 248,33 | 255,83 | |
| | C.V. | 14,39 | | |
| Classe textural | 0-5 | Fr. Ar. | Fr. Arg. Ar. | |
| | 5-15 | Fr. Arg. Ar. | Fr. Arg. Ar. | |
| | 15-25 | Fr. Arg. | Fr. Arg. Ar. | |
| Grau de floculação (g 100g ⁻¹) | 0-5 | 74,25 ^{ns} | 70,25 ^{ns} | 72,25 |
| | 5-15 | 66,25 ^{ns} | 73,25 ^{ns} | 69,75 |
| | 15-25 | 69,25 ^{ns} | 78,25 ^{ns} | 73,75 |
| | Média | 69,92 | 73,92 | |
| | C.V. | 25,10 | | |
| Umidade 0,033 Mpa (g 100g ⁻¹) | 0-5 | 18,54 aA | 18,11 aA | 18,33 |
| | 5-15 | 16,75 bA | 14,73 bB | 15,74 |
| | 15-25 | 18,35 aA | 15,19 bB | 16,77 |
| | Média | 17,88 | 16,01 | |
| | C.V. | 3,09 | | |
| Umidade 1,5 Mpa (g 100g ⁻¹) | 0-5 | 13,13 ^{ns} | 12,26 ^{ns} | 12,70 |
| | 5-15 | 11,70 ^{ns} | 10,64 ^{ns} | 11,17 |
| | 15-25 | 11,79 ^{ns} | 11,33 ^{ns} | 11,56 |
| | Média | 12,21 | 11,41 | |
| | C.V. | 8,89 | | |
| Água útil | 0-5 | 5,41 aA | 5,84 aA | 5,63 |
| | 5-15 | 5,05 aA | 4,08 abA | 4,57 |
| | 15-25 | 6,56 aA | 3,86 bB | 5,21 |
| | Média | 5,67 | 4,59 | |
| | C.V. | 19,30 | | |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey. ns = não-significativo.

ficação de solos afetados por sais.

As maiores concentrações de fósforo ocorreram nas profundidades superficiais, segundo Souza Júnior et al. (2001), esse comportamento está correlacionado com altos valores de pH e a adição de fer-

tilizantes. O fósforo disponível apresentou valores muito superiores na área BAN diferindo entre as profundidades, assim como apresentado por Rheinheimer et al. (1998) que avaliaram atributos químicos sob diferentes sistemas de manejos cultivado

com milho e área de mata nativa.

Os teores de nitrogênio apresentaram-se baixos, o que era esperado em função dos baixos teores de matéria orgânica.

A relação C/N variou entre 13,00 a 15,19, onde se observa maior mineralização do que imobilização dos nutrientes, pela decomposição da matéria orgânica (GIACOMINI et al., 2003). As maiores concentrações de matéria orgânica foram detectadas na camada superficial. O teor de matéria orgânica não diferiu entre as áreas e as profundidades, contu-

do a área MN apresentou maior média para MO, assim como obtido por Albuquerque et al. (2005) provavelmente pelo grande aporte de resíduos orgânicos, não-revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica na mata nativa.

De maneira geral, o número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares apresentou valores maiores na profundidade de 0-5 cm nas áreas estudadas, destacando uma diferença significativa entre as profundidades 0-5 e 15-25 cm (Figura 1).

Tabela 2. Propriedades químicas das amostras de solo coletadas sob cultivo de bananeiras (BAN) e sob mata natural (MN), na Chapada do Apodi – CE.

| Propriedade | Profundidade (cm) | Área | | Média |
|---|-------------------|---------------------|---------------------|-------|
| | | Bananeira | Mata natural | |
| pH em água (1: 2,5) | 0-5 | 7,8 aA | 6,7 aA | 7,3 |
| | 5-15 | 7,4 aA | 6,6 aA | 7,0 |
| | 15-25 | 7,3 aA | 6,5 aA | 6,9 |
| | Média | 7,5 | 6,6 | |
| | C.V. | 1,38 | | |
| CE (dS m ⁻¹) | 0-5 | 0,43 ^{ns} | 0,55 ^{ns} | 0,49 |
| | 5-15 | 0,27 ^{ns} | 0,32 ^{ns} | 0,30 |
| | 15-25 | 0,25 ^{ns} | 0,28 ^{ns} | 0,27 |
| | Média | 0,32 | 0,38 | |
| | C.V. | 11,64 | | |
| Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 12,13 ^{ns} | 8,28 ^{ns} | 10,21 |
| | 5-15 | 7,53 ^{ns} | 5,73 ^{ns} | 6,63 |
| | 15-25 | 7,33 ^{ns} | 4,88 ^{ns} | 6,11 |
| | Média | 9,00 | 6,30 | |
| | C.V. | 11,81 | | |
| Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 4,85 aA | 3,10 aB | 3,98 |
| | 5-15 | 4,03 abA | 2,70 aB | 3,37 |
| | 15-25 | 2,93 bA | 3,28 aA | 3,11 |
| | Média | 3,94 | 3,03 | |
| | C.V. | 18,22 | | |
| Na ⁺ (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 0,28 aA | 0,17 aA | 0,23 |
| | 5-15 | 0,26 aA | 0,16 aA | 0,21 |
| | 15-25 | 0,34 aA | 0,17 aA | 0,26 |
| | Média | 0,29 | 0,17 | |
| | C.V. | 3,76 | | |
| K ⁺ (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 0,53 aA | 0,90 aA | 0,72 |
| | 5-15 | 0,35 aA | 0,94 aA | 0,65 |
| | 15-25 | 0,38 aA | 0,87 aA | 0,63 |
| | Média | 0,42 | 0,90 | |
| | C.V. | 7,23 | | |
| H ⁺ + Al ³⁺ (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 0,41 ^{ns} | 1,64 ^{ns} | 1,03 |
| | 5-15 | 0,90 ^{ns} | 1,52 ^{ns} | 1,21 |
| | 15-25 | 0,90 ^{ns} | 1,31 ^{ns} | 1,11 |
| | Média | 0,74 | 1,49 | |
| | C.V. | 54,04 | | |
| S (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 17,77 aA | 12,30 aB | 15,04 |
| | 5-15 | 12,20 bA | 9,52 bB | 10,86 |
| | 15-25 | 10,95 bA | 9,15 bA | 10,05 |
| | Média | 13,64 | 10,32 | |
| | C.V. | 9,56 | | |
| CTC (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 18,20 ^{ns} | 14,10 ^{ns} | 16,15 |
| | 5-15 | 13,08 ^{ns} | 11,05 ^{ns} | 12,07 |
| | 15-25 | 11,85 ^{ns} | 10,50 ^{ns} | 11,18 |
| | Média | 14,38 | 11,88 | |
| | C.V. | 9,63 | | |

Continuação da Tabela 2

| Propriedade | Profundidade (cm) | Área | | Média |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------|
| | | Bananeira | Mata natural | |
| CTC (cmolc kg ⁻¹) | 0-5 | 18,20 ^{ns} | 14,10 ^{ns} | 16,15 |
| | 5-15 | 13,08 ^{ns} | 11,05 ^{ns} | 12,07 |
| | 15-25 | 11,85 ^{ns} | 10,50 ^{ns} | 11,18 |
| | Média | 14,38 | 11,88 | |
| | C.V. | 9,63 | | |
| V(%) | 0-5 | 97,75 ^{ns} | 87,00 ^{ns} | 92,38 |
| | 5-15 | 93,00 ^{ns} | 86,25 ^{ns} | 89,63 |
| | 15-25 | 92,50 ^{ns} | 87,50 ^{ns} | 90,00 |
| | Média | 94,42 | 86,92 | |
| | C.V. | 5,48 | | |
| PST | 0-5 | 1,3 cA | 1,0 aA | 1,1 |
| | 5-15 | 2,0 bA | 1,0 aB | 1,5 |
| | 15-25 | 3,0 aA | 1,5 aB | 2,3 |
| | Média | 2,1 | 1,2 | |
| | C.V. | 24,05 | | |
| P disponível (mg kg ⁻¹) | 0-5 | 143,00 aA | 20,25 aB | 81,62 |
| | 5-15 | 107,75 bA | 5,50 aB | 56,62 |
| | 15-25 | 3,50 cA | 1,50 aA | 2,50 |
| | Média | 84,75 | 9,08 | |
| | C.V. | 25,11 | | |
| N (g kg ⁻¹) | 0-5 | 1,65 ^{ns} | 2,10 ^{ns} | 1,88 |
| | 5-15 | 0,93 ^{ns} | 1,09 ^{ns} | 1,01 |
| | 15-25 | 0,60 ^{ns} | 0,77 ^{ns} | 0,69 |
| | Média | 1,06 | 1,32 | |
| | C.V. | 10,14 | | |
| C/N | 0-5 | 13,15 ^{ns} | 13,33 ^{ns} | 13,24 |
| | 5-15 | 13,00 ^{ns} | 13,02 ^{ns} | 13,01 |
| | 15-25 | 15,00 ^{ns} | 15,19 ^{ns} | 15,09 |
| | Média | 13,71 | 13,84 | |
| | C.V. | 7,75 | | |
| MO (g kg ⁻¹) | 0-5 | 28,46 ^{ns} | 36,12 ^{ns} | 32,29 |
| | 5-15 | 16,05 ^{ns} | 18,70 ^{ns} | 17,38 |
| | 15-25 | 10,35 ^{ns} | 13,28 ^{ns} | 11,82 |
| | Média | 18,29 | 22,70 | |
| | C.V. | 10,22 | | |

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey. ns = não-significativo.

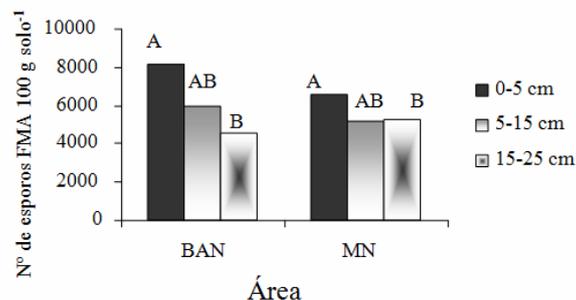


Figura 1. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em amostras de solo, sob cultivo de bananeiras (BAN) e mata natural (MN), na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam as áreas.

A baixa disponibilidade de nutrientes favorece a colonização radicular pelo FMA, indicando que a colonização e a esporulação são geralmente máximas nessas condições. Entretanto, segundo Moreira-Souza e Cardoso (2002) em situações de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente de P, as plantas tendem a diminuir a colonização, o que não foi observado na área BAN, a qual apresentou altos níveis de P disponível.

Conforme Minhoni e Auler (2003), trabalhando com mamoeiro, a presença de FMA reduz a necessidade de fósforo para a cultura. Assim é possível inferir que a presença de FMA nas áreas estudadas pode suprir a necessidade de P e outros nutrientes

para as plantas dessas áreas, por que a contribuição dos FMA no crescimento e na absorção de macro e micronutrientes já foram comprovadas em diversas culturas (SILVA et al., 2009; SILVA JÚNIOR et al., 2010).

Contudo, solos com fertilidade elevada, principalmente altos teores de P, reduzem a eficiência simbiótica dos FMA, isto significa um menor efeito positivo dos fungos para as plantas em relação aos benefícios já comentados anteriormente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Por que como o solo está com fertilidade alta, a dependência das plantas para os FMA será menor, no entanto, isso não diminui a importância que os fungos micorrízicos têm para o solo, pois eles melhoram a agregação deste, especialmente pela deposição de material orgânico a glomalina, que é produzida pelo micélio externo do fungo. Nas áreas estudadas, os principais gêneros de FMA encontrados foram: *Gigaspora* e *Glomus*.

Kumari e 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 da 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.

A atividade da arilsulfatase variou entre 33,07 a 78,00 μg de pNF g^{-1} solo h^{-1} , valores estes dentro dos citados por Nogueira e Melo (2003), referindo-se a solos de clima temperado que variaram de 28 a 425 μg de pNF g^{-1} solo h^{-1} na camada superficial de ambas as áreas (Figura 2).

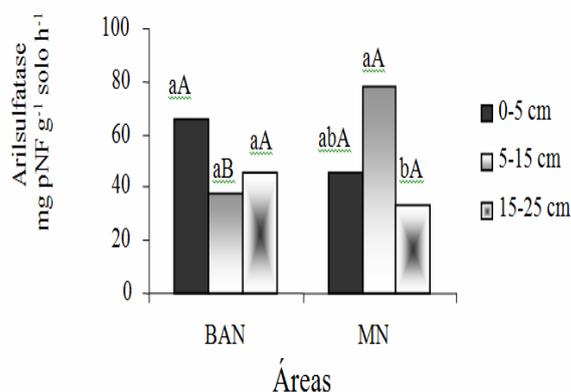


Figura 2. Atividade da enzima arilsulfatase em amostras de solo, sob cultivo de bananeiras (BAN) e mata natural (MN), na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam as profundidades da mesma área e maiúsculas comparam as áreas.

Entre as áreas BAN e MN houve diferença estatística apenas na profundidade de 5-15 cm, com maiores expressões na área MN. Nas demais profundidades não existiram diferenças entre as áreas natural e cultivada, resultado similar foi obtido por Mendes et al. (2003) em que a vegetação nativa teve maiores valores dessa enzima que área sob plantio convencional. A elevada atividade deve-se à competição entre os ânions H_2PO_4^- e SO_4^- pelos mesmos sítios de adsorção dos colóides do solo. Como o ânion H_2PO_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 promove uma deficiência de enxofre nos primeiros centímetros do solo a qual é compensada pelo estímulo da atividade da arilsulfatase.

Conforme Nogueira e 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, não foi observada correlação entre MO 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 decomposição da matéria orgânica ou tipo de vegetação que lhe deu origem.

A atividade da enzima fosfatase ácida diferiu significativamente entre as duas áreas nas profundidades: 5-15 e 15-25 cm sendo superior na área BAN (Figura 3). Os valores apresentaram-se superiores na camada superficial nas duas áreas não diferindo estatisticamente entre si. Não foi constatada a redução da atividade da fosfatase ácida como nos estudos realizados por Mendes et al. (2003) na área BAN devido ao efeito inibidor do uso de adubos fosfatados prontamente solúveis.

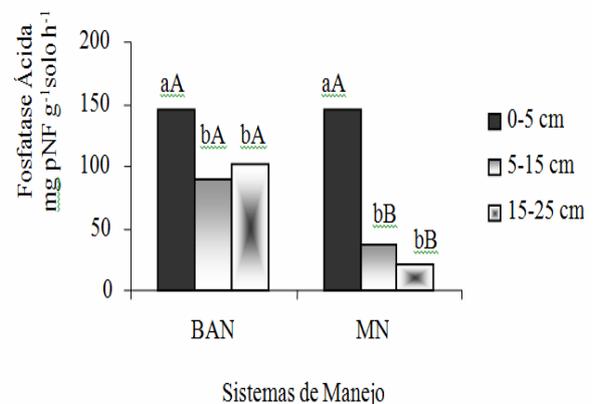


Figura 3. Atividade da enzima fosfatase ácida em amostras de solo, sob cultivo de bananeiras (BAN) e mata natural (MN), na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam as profundidades da mesma área e letras maiúsculas comparam as áreas.

A quantidade de P na área BAN devido à adubação fosfatada pode não ter sido suficiente para inibição da atividade da fosfatase ácida conforme informam Fernandes et al. (2000).

Os valores elevados da fosfatase ácida também refletem a composição entre os ânions H_2PO_4^- e 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 na área MN. A elevada expressão da atividade da fosfatase ácida na camada 0-5 cm da área MN demonstra 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 de plantio de videira (*Vitis vinifera*) 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 na área cultivada, sendo possível questionar a 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, pois a adsorção de enzimas extracelulares (como a fosfatase) a 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 do leste (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 e Vivaldi (2001) na área do Distrito Federal.

A β -glucosidase apresentou maior atividade na área BAN (Figura 4). Houve de forma geral decréscimo na atividade com o aumento da profundidade em ambas as áreas, apesar das diferenças entre as profundidades não serem estatisticamente significativas. Na área BAN a profundidade 5-15 cm apresentou valor inferior às demais. As maiores atividades na profundidade de 0-5 cm estão relacionadas ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo (TRANNIN et al., 2007; PASCUAL et al., 2000).

A β -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 na área agrícola, provavelmente está relacionada à quantidade e à qualidade do resíduo vegetal que é retornado ao solo.

Na área natural, 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 β -glucosidase observadas na área de mata natural, 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 influencie nesse aspecto (MENDES et al., 2003).

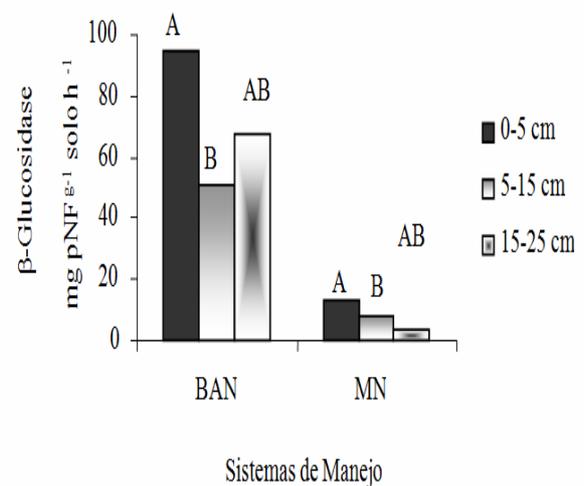


Figura 4. Atividade da enzima β -glucosidase em amostras de solo, sob cultivo de bananeiras (BAN) e mata natural (MN), na Chapada do Apodi - CE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam as áreas

CONCLUSÕES

O número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares não diferiu quanto às áreas e apresenta valores decrescentes com o aumento da profundidade na área cultivada. A atividade da arilsulfatase é maior na área cultivada na profundidade de 0-5 cm e na área de mata natural na profundidade de 5-15 cm. A atividade da fosfatase ácida não diferiu entre as áreas na profundidade de 0-5 cm e decresceu com o aumento das profundidades em ambas as áreas. Para a β -glucosidase, há uma maior atividade na área cultivada, sem, contudo, apresentar diferença entre as profundidades. A atividade enzimática evidencia uma dificuldade de estabelecer correlações entre a bioquímica e química do solo em áreas onde a entrada de nutrientes via adubação é elevada.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Relação de atributos do solo com a agregação de um latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.
- ANDRADE, S. A. L.; SLIVEIRA, A. P. D. Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1191-1198, 2004.
- ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.
- BEUTLER, A. N. et al. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.
- BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 1019-1025, 1999.
- 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. 246 p.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 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. 1 CD ROM.
- DICK, R. P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DIRAN, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (Special publication, 35).
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (Documento, 1).
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 415 p.
- FERNANDES, L. A. et al. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 561-571, 2000.
- GERDEMANN, J. W.; NICHOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1964.
- GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 325-334, 2003.
- KUMARI, K. K.; SINGARAM, P. Relationship among soil chemical, biochemical properties and enzyme activities. **Madras: Agronomy Journal**, v. 82, n. 1, p. 69-70, 1995.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.
- MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290 p.
- MINHONI, M. T. A.; AULER, P. A. M. Efeito do fósforo, fumigação do substrato e fungo micorrízico arbuscular sobre o crescimento de plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 841-847, 2003.
- MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucária angustifolia* (Bert) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 905-912, 2002.
- NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 655-663, 2003.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações em atributos químicos do solo arenoso sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 5, p. 713-721, 1998.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 626 p.

PASCUAL, J. A. et al. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. **Soil Biology Biochemistry**, v. 32, n. 13, p. 1877-1883, 2000.

SILVA, T. F. B. et al. Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* CURTIS). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 1-6, 2009.

SILVA JÚNIOR, J. M. T. et al. Desenvolvimento do meloeiro associado a fungos micorrízicos arbusculares e cultivado em substrato pó de coco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, p. 54-59, 2010.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, MG, Viçosa, v. 25, n. 6, p. 977-986, 2001.

SOUZA, Z. M. et al. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 31-38, 2006.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. 1. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 777.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 195-276, 2002.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadores de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1173-1184, 2007.