UFS - POSGRAP - NEREN

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

EM AGROECOSSISTEMAS

DISSERTAÇÃO

Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas

Selenobaldo Alexinaldo Cabral de Sant'Anna

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - POSGRAP

NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS - NEREN

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

SELENOBALDO ALEXINALDO CABRAL DE SANT'ANNA

Sob a Orientação do Pesquisador
Pesq. Ph.D. Jefferson Luís da Silva Costa
e Co-orientação do Pesquisador
Pesq. Ph.D. Marcelo Ferreira Fernandes

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agroecossistemas.**

São Cristóvão, Se.
Agosto de 2007

FICHA CATALOGRÁFICAELEABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Sant'Anna, Selenobaldo Alexinaldo Cabral de
S232i Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas / Selenobaldo Alexinaldo Cabral de Sant'Anna - - São Cristóvão, 2007.
xiv, 50 f. il.

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Pró-Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa, Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe.

Orientador: Ph.D. Jefferson Luís da Silva Costa.
Co-Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ferreira Fernandes.

I. Agroecossistemas. 2. Culturas agrícolas – Cana-de-açúcar – Alagoas. 3. Desenvolvimento econômico. 4. Desenvolvimento sustentável – Manejo do solo. 5. Alagoas – Tabuleiros costeiros. 1. Título.

CDU 504:633.61(813.5)

BIBLIOTECÁRIA/DOCUMENTALISTA: NELMA CARVALHO – CRB – 5/1351

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS - NEREN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

SELENOBALDO ALEXINALDO CABRAL DE SANT'ANNA

Dissertação submetida ao Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agroecossistemas**

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/ 08/ 2007

Pesq. Ph.D. Jefferson Luís da Silva Costa
Embrapa Tabuleiros Costeiros
(Orientador)

Pesq. Ph.D. Marcelo Ferreira Fernandes
Embrapa Tabuleiros Costeiros

Prof. Dr. Alceu Predotti
Universidade Federal de Sergipe

Profª. Drª. Renata da Silva Mann
Universidade Federal de Sergipe

DEDICO

A meu Pai Dr. Vilobaldo Agostinho de Sant'Anna pela luta e dedicação incansáveis e a felicidade que compartilha ("in memorian").

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais esta conquista e a iluminação dos caminhos percorridos até o presente.

Ao meu orientador, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Dr. Jefferson Luís da Silva Costa, pela confiança depositada e ao meu co-orientador, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Dr. Marcelo Ferreira Fernandes, que sem medir esforços contribuiu imensamente para realização deste trabalho.

A minha mãe Ivone Cabral, meus irmãos (Siomara, Salete, João, Agostinho, Vilobaldo e Sandra), Tios (Salomão, Nita), amigos da minha mãe (Helenice, Eliane, Arlinda, Anselmo, Telma, Berna, Henrique, Vânia, Meire, Selda), por entenderem o meu esforço e me passarem os subsídios de fé, espiritualidade e otimismo.

A amiga Érica Verena, pelas conversas, alegria, companheirismo em todos os momentos e por me puxar várias vezes para o trem.

A amiga Jacqueline Oliveira, pelo imenso carinho, confiança, disposição em ajudar e alegria quando estamos juntos.

Aos meus queridos amigos da Embrapa e mestrado: Andréia, Raquel, Liliane, Inácio, Conceição, Lion, Gabriela, Sandrinha, Eline, Geovânia, Karina, Éster, Diego Melo, Talita, Gislene, Acioly, Josete, Robinson, Robson, Daniel, Roberto, Bruno, Vanice, Íris, Lidiane, Roque, Joel, Márdina, Joice, Nadjma, Karla, Carol, Micaela, Patrícia, Jefferson, Joyce Oliveira, Márcia, Daniela, Paixão, Isaac, Diego, Mário, Adriane, Alexandra, Rogena, Jane Welma, Ana Consuelo, Débora, Tânia, Zélia, Evanildes, Cíntia pelo apoio, alegria, conversas, colaboração em vários momentos e animação nas festas.

Aos pesquisadores da Embrapa Ana Lêdo, Sarah, Joézio, João Bosco, Luzia Tabosa (e esposo Newton), Hélio, Cuenca, Amaury, Salete, Dulce, Wilson, Júlio, Edson, Fernando Cintra, Hymerson e Mariângela Hungria, pela colaboração, conversas, otimismo e amizade.

A pesquisadora da Embrapa Walane Ivo, pela colaboração, amizade e contatos com a Usina Triunfo. Ao técnico José Carlos, pela colaboração na coleta das amostras de solo. A Usina Triunfo Agroindustrial, pelo apoio na condução e amostragens das áreas experimentais.

À chefia administrativa da Embrapa Tabuleiros Costeiros Dr. Edmar, Edson Diogo, Nery, Tereza, Pureza, Janaina, Vicente, Edgar, pelo apoio no estágio, colaboração nas viagens e amizade.

A Profª Marly Magalhães Franco, pelos ensinamentos e otimismo passados durante a graduação.

A Mônica e Alana, por de alguma forma estarem no meu pensamento.

A Gláucia, suas colegas de trabalho e a sua família, pelo pensamento positivo e carinho.

A CAPES pela concessão da Bolsa e ao NEREN-UFS, professores e funcionários, pela acolhida e oportunidade.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS ix

LISTA DE FIGURAS x

LISTA DE FIGURAS x

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS xii

RESUMO xiii

ABSTRACT xiv

1 - INTRODUÇÃO GERAL 1

2 – REFERENCIAL TEÓRICO 3

2.1 – Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil 3
2.2 – A cana-de-açúcar nos tabuleiros do Estado de Alagoas 5
2.3 – Aspectos ambientais da colheita da cana-de-açúcar 6
2.4 – Considerações sobre qualidade do solo 8
2.5 – Indicadores de qualidade do solo 9

CAPÍTULO I INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS. 14

Resumo 14
Abstract 15
1.1 – Introdução 16
1.2 – Material e Métodos 17
1.2.1 – Localização e características da área estudada 17
1.2.2 – Determinação do carbono orgânico total (COT) 20
1.2.3 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) 20
1.2.4 – Atividade Enzimática Microbiana 20
1.2.5 – Estabilidade de Agregados 21
1.2.6 – Análise estatística 21
1.3 – Resultados e Discussão 21
1.4 – Conclusões 28
1.5 – Referências Bibliográficas 28

CAPÍTULO II DISTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM AGREGADOS DO SOLO DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS 30

Resumo 30
Abstract 31
2.1 – Introdução 32
2.2 – Material e Métodos 34
2.2.1 – Localização e características da área estudada 34
2.1.2 – Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e percentagem de macroagregados (PMA) 35
2.2.3 – Atividade enzimática microbiana 35
2.2.4 – Análise estatística 36

2.3 – Resultados 36
2.4 – Discussão 39
2.5 – Conclusões 42
2.6 – Referências Bibliográficas 42
3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS 45
4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS.

Tabela 1. Textura, consistência e classificação dos solos dos sítios amostrados. UFS, São Cristóvão-SE, 2007 22
Tabela 2. Histórico e estimativa de aporte anual de C nos sítios de cana-de-açúcar amostrados. UFS, São Cristóvão-SE, 2007 24

CAPÍTULO II DISTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM AGREGADOS DO SOLO DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS.

Tabela 1. Textura, consistência e classificação dos solos dos sítios amostrados. UFS, São Cristóvão-SE, 2007.....37

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO.

Figura 1. Faixa dos tabuleiros costeiros (em cinza) na região nordeste do Brasil: área total = 98.503 Km^2, correspondendo a 5,92% da área total da região, adaptado de Silva e outros (1993). 3

CAPÍTULO I – INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS.

Figura 1. Faixa dos tabuleiros costeiros na região Nordeste do Brasil com destaque para o Estado de Alagoas, adaptado de Silva e outros (1993). 18
Figura 2. Área de cultivo de cana crua, estação chuvosa (A) e seca (B) (Fotos autor). 18
Figura 3. Vista parcial do solo de cultivo de cana crua (A) e de cana queimada (B) (Fotos autor). 19
Figura 4. Borda entre o cultivo de cana orgânica e a mata nativa (A), e solo de mata (B) (Fotos autor). 19
Figura 5. Médias (± 1 EP) dos teores de carbono orgânico do solo (0-10 cm) de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN). Médias com mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 23
Figura 6. Médias (± 1 EP) dos teores de carbono da biomassa microbiana de solo (0-10 cm) de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN). Médias com mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 23
Figura 7. Médias (± 1 EP) da atividade enzimática do solo, determinada pela hidrólise do diacetato de fluoresceína, em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN), na época chuvosa (A) e seca (B). Médias com mesma letra, dentro de cada época de coleta, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 25
Figura 8. Médias (± 1 EP) da percentagem de macroagregados de solo (>0,25 mm) estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN), na época chuvosa (A) e seca (B). Médias com mesma letra, dentro de cada época de coleta, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 26
Figura 9. Médias (± 1 EP) do diâmetro médio de agregados de solo estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN), na época chuvosa (A) e seca (B). Médias com mesma letra, dentro de cada época de coleta, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 27
Figura 10. Perfil dos agregados dos solos amostrados (foto autor). 27

CAPÍTULO II DISTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM AGREGADOS DO SOLO DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS.

Figura 1. Faixa dos tabuleiros costeiros na região Nordeste do Brasil com destaque para o Estado de Alagoas, adaptado de Silva e outros (1993). 34

Figura 2. Médias (± 1 EP) do diâmetro médio de ponderado dos agregados de solo estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 37
Figura 3. Médias (± 1 EP) da distribuição da atividade de hidrólise de FDA em diferentes classes de agregados de solo estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 38
Figura 4. Médias (± 1 EP) da recuperação do solo após peneiramento por via úmida em amostras de solo coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 38
Figura 5. Médias (± 1 EP) da recuperação da hidrólise de FDA após o peneiramento do solo por via úmida em amostras de solo coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007. 39

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Al – Alumínio

CBM – Carbono da biomassa microbiana

CC – Cana-de-açúcar crua

CH_4 - Metano

$CHCl_3$ – Clorofórmio

CO – Cana-de-açúcar orgânica

CO – Monóxido de carbono

CO_2 – Dióxido de carbono

COT – Carbono orgânico total

CQ – Cana-de-açúcar queimada

DMA – diâmetro médio agregados

DMP – Diâmetro médio ponderado

F – Fumigação

FDA – Hidrólise de diacetato de fluoresceína

Fe – Ferro

FE – Fumigação-extração

$FeSO_4$ – Sulfato ferroso

H_2SO_4 – Ácido sulfúrico

$K_2Cr_2O_7$ – Dicromato de potássio

K_2SO_4 – Sulfato de potássio

$KMnO_4$ – Permanganato de potássio

MN – Mata nativa

$MnSO_4H_2O$ – Sulfato de manganês mono-hidratado

MOS – Matéria orgânica do solo

N_2O – Óxido nitroso

$Na_4P_2O_7$ – Pirofosfato de sódio

NF – Não fumigado

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

PIB – Produto interno Bruto

PMA - Percentagem de macroagregados

RESUMO

SANT'ANNA, Selenobaldo Alexinaldo Cabral. **Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.** 2007. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2007.

No ecossistema dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas a cultura da cana-de-açúcar destaca-se como a principal atividade agrícola exercendo influência nos aspectos econômico e ambiental da região. Esta atividade tem sido praticada de forma contínua e intensa ao longo do tempo e a necessidade de conservação ambiental e preservação dos diversos recursos presentes neste agroecossistema têm exigido que a sua utilização seja sustentável. Entre os recursos existentes, o solo assume papel importante e a avaliação da sua qualidade através da observação e análise dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo que sejam sensíveis às práticas de manejo e resistentes a variações sazonais podem ser utilizadas para definir a sustentabilidade deste agroecossistema. Assim o objetivo deste trabalho foi selecionar variáveis indicadoras de conservação do solo que atendam aos critérios de sensibilidade ao manejo e robustez as variações sazonais. Para tanto, dez amostras compostas de solo (0-10 cm) foram coletadas de áreas sob cana-orgânica (CO), cana-crua (CC), e cana-queimada (CQ), bem como de uma mata nativa (MN) adjacente usada como referência da condição não-manejada. A amostragem foi realizada em duas datas: julho de 2005 (chuva) e março de 2006 (seca). Avaliaram-se o C da biomassa microbiana (CBM), o C orgânico total (COT), a atividade enzimática do solo pela taxa de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), o diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMA) e a percentagem de macroagregados (PMA). O CBM e COT foram mais elevados na MN que nas áreas cultivadas, não diferindo, no entanto entre os três sistemas de manejo da cana-de-açúcar. A resposta de FDA aos manejos foi dependente da época de amostragem. No período chuvoso, os valores desta variável seguiram a ordem: MN > CO > CC > CQ; na época seca, apenas MN diferiu dos demais tratamentos. Independentemente da data de coleta, DMA e PMA decresceram na ordem MN > CO = CC > CQ. As variáveis DMA e PMA apresentaram sensibilidade satisfatória para diferenciar manejos de cana-de-açúcar e robustez à data de coleta. Após estes estudos foi analisada a distribuição da atividade enzimática medida pela hidrólise de FDA nas diferentes classes de agregados estáveis em água em amostras de solos de MN e cultivo de cana crua CC. Buscou-se com esta análise, averiguar o grau de associação entre o estado de agregação do solo e a atividade enzimática. Foi evidenciada a existência de uma compartimentalização diferenciada dos reservatórios de enzimas catalisadoras da hidrólise do FDA entre CC e MN. Observou-se uma relação não-monotônica entre estas duas variáveis. Para ambos os solos, classes de agregados intermediárias (0,25 a 1,00 mm) apresentaram menores valores de FDA que as classes abaixo e acima desta faixa de diâmetros.

Palavras-chave: Agroecossistemas, diacetato de fluoresceína, agregados de solo e manejo do solo.

ABSTRACT

SANT'ANNA, Selenobaldo Alexinaldo Cabral. **Soil quality indicators in sugarcane areas in Coastal Tablelands Alagoas State.** 2007. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2007.

The sugarcane crop is the major agricultural activity in the coastal tableland ecosystems in Alagoas State, exerting a remarkable influence in the economical and social aspects. This activity has been continuously and intensively conducted for several years and the necessity of environmental conservation and preservation of the several natural resources in this agroecosystem makes the adoption of sustainable practices mandatory for this activity. Among these resources, soil assumes a primary role and the evaluation of its quality through the observation and analysis of physical, chemical and biological indicators that are sensitive to management practices and robust to seasonal variations may be used to define this agroecosystem sustainability. Therefore, the objective of this work was to select indicator variables of soil conservation that fulfill the criteria of sensitivity to management and robustness to seasonal variability. For this, ten composite soil samples (0-10 cm) were taken from areas grown with organic sugarcane (OS), unburned sugarcane (US), and burned sugarcane (BS), as well as from an adjacent native forest (NF) used as a reference of the undisturbed condition. Sampling was carried out at two dates: July 2005 (rainy season) and March 2006 (dry season). The following variables were analyzed: microbial biomass-C (MBC), total organic C (TOC), soil enzyme activity by the fluorescein diacetate (FDA) hydrolysis technique, the weighed mean diameter of water stable soil aggregates (WSA), and the percent of macroaggregates (PMA). MBC and TOC were higher in NF than in the cultivated areas. No differences were observed in these C pools between the three sugarcane management treatments. The response of FDA to the crop management was dependent on the sampling time. In the rainy period, the activity followed the order: NF > OS > US > BS; in the dry season, only NF differed from the other treatments. Irrespective to the sampling time, WSA and PMA decreased according with the order NF > OS = US > BS. The variables WSA and PMA were quite sensitive to discriminate between sugarcane managements, and, at the same time, robust to seasonal variations. As an additional study, we analyzed the distribution of enzyme activity (fluorescein diacetate hydrolisys) across different diameter classes of water stable aggregates in soil samples from NF and US in order to verify the relationship between these variables. It was suggested the occurrence of two pools of fluorescein diacetate catalyzing enzymes in soils from NF and US. A non-monotonic relationship was observed between aggregate diameter and FDA. For both soils, intermediate aggregate size classes (0.25 to 1.00 mm) had lower FDA values than the classes bellow and above this diameter range.

Key Words: Agroecosystem, fluorescein diacetate, soil aggregates and soil management.

1 - INTRODUÇÃO GERAL

O manejo inadequado e intensivo dos solos na agricultura tem resultado em extensas áreas degradadas ou em processo de exaustão. A busca de práticas agrícolas que proporcionem altas produtividades para a cana-de-açúcar, mas com sustentabilidade aos agroecossistemas em que está inserida tem sido um grande desafio. Isto é especialmente válido para o ecossistema dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas onde o seu cultivo domina a paisagem com grande influência histórica, econômica, social e ambiental para região.

Entre os diversos recursos presentes nos agroecossistemas, o solo é um componente importante e o seu uso e manejo são fundamentais na busca de uma atividade agrícola sustentável. Nesse contexto, a seleção de indicadores referentes à qualidade do solo para os agroecossistemas dos tabuleiros costeiros assume papel importante na definição das práticas agrícolas que melhor se adaptam a esta região.

Para isso, um conjunto mínimo de indicadores englobando atributos físicos, químicos e biológicos deve ser utilizado nas análises de qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994) e a avaliação desses atributos pode ser realizada de três maneiras: medindo-os periodicamente, ao longo do tempo; comparando o desempenho dos indicadores escolhidos com valores de referência; ou, preferentemente, comparando o desempenho desses indicadores com suas performances em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997; CASALINHO; MARTINS, 2004).

Os indicadores selecionados devem responder de forma rápida e acurada a um distúrbio no solo, bem como refletir os aspectos do funcionamento do ecossistema. Além disto, devem possuir processos de avaliação bem definidos e viáveis economicamente, serem de distribuição universal, robustos à sazonalidade, relacionados a outros indicadores e de resultados interpretáveis (MARZALL; ALMEIDA, 2000; ZILLI et al., 2003).

Dessa forma, este trabalho pretende contribuir com a seleção de indicadores físicos, químicos e biológicos, que expressem de modo eficaz as alterações que ocorrem no solo devido ao sistema de cultivo e colheita da cana-de-açúcar na região dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas.

Assim, partiu-se do princípio de que os manejos adotados tanto na forma de cultivo, como de colheita da cana-de-açúcar, são fatores que modificam o estado de conservação do solo e, conseqüentemente, a sustentabilidade do agroecossistema.

No referencial teórico são apresentados os aspectos conceituais que orientaram a condução do trabalho, como a importância dos tabuleiros costeiros no Nordeste do Brasil, a influência do agroecossistema da cana-de-açúcar na região dos tabuleiros de Alagoas, os aspectos ambientais da colheita da cana na região, a necessidade do uso sustentável dos solos agrícolas e a importância do uso de parâmetros indicadores de qualidade do solo para os sistemas de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas.

O capítulo 1 aborda a avaliação de indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas com relação à sensibilidade em diferenciar manejos e a capacidade de resistir a variações sazonais.

No segundo capítulo é testada a hipótese de que a atividade microbiana, medida como a velocidade de hidrólise do diacetato de fluoresceína, aumenta monotonicamente com o incremento do diâmetro dos agregados do solo. Em função da interdependência entre aspectos microbianos e a agregação do solo, espera-se que variáveis microbianas possam refletir alterações nas propriedades físicas do solo e sejam adequadas como indicadores de sustentabilidade deste. Buscou-se aqui, avaliar se a hidrólise de diacetato de fluoresceína apresenta um estrito padrão de variação com o diâmetro dos agregados. Em caso de confirmação de uma alta correlação entre atividade enzimática e tamanho de agregados, poder-se-ia sugerir o uso desta análise bioquímica como uma alternativa para monitorar mudanças no estado de agregação dos solos. Como vantagens desta técnica citam-se a facilidade e a rapidez de execução das análises, comparativamente às avaliações diretas dos agregados.

As considerações finais enfatizam a importância do uso e avaliação de indicadores de qualidade do solo como instrumento técnico-científico contribuinte para a sustentabilidade do agroecossistema da cana-de-açúcar do Estado de Alagoas.

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 – Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil

Os tabuleiros costeiros são formações terciárias que se distribuem por quase toda a faixa costeira do Brasil (Figura 1), desde o Amapá ao Rio de Janeiro, estendendo-se até o vale do Rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo. Esta unidade de paisagem limita-se a oeste com os morros cristalinos e a leste com a baixada litorânea; ocupando uma área estimada em cerca de 200.000 km². No Nordeste, está paisagem ocupa uma área estimada de 8,4 milhões de hectares (EMBRAPA, 1994; JACOMINE, 1996).

Figura 1. Faixa dos tabuleiros costeiros (em cinza) na região nordeste do Brasil: área total = 98.503 Km^2, correspondendo a 5,92% da área total da região, adaptado de Silva e outros (1993).

O ecossistema dos tabuleiros ocorre sempre associado a solos característicos, em sua maioria derivados de sedimentos do Grupo Barreiras do Terciário, sendo os Latossolos Amarelos coesos, Argissolos Amarelos e os Argissolos Acinzentados os de maior ocorrência (CINTRA; LIBARDI, 1998; PORTELA; LIBARDI; VAN LIER, 2001).

A importância dos tabuleiros costeiros no desenvolvimento econômico e social do Nordeste é evidenciada pelas grandes concentrações urbanas, pela diversidade de explorações agrícolas, pela ampla infra-estrutura de transporte rodoviário e de terminais

marítimos para escoamento da produção e por abrigar grande parte da mata atlântica ainda existente no País (CINTRA; LIBARDI, 1998).

Embora ocupem cerca de 6% da área do Nordeste, os tabuleiros costeiros contribuem com 26,4% e 38,2% do PIB gerado pelas culturas temporárias e permanente na região (CINTRA; LIBARDI; SAAD, 2000). Essa potencialidade agrícola dos tabuleiros do Nordeste deve-se principalmente à topografia plana e a precipitação pluviométrica favorável da região.

No entanto, em função de características como baixo teor de matéria orgânica, presença de argila de baixa atividade e das proporções consideráveis de areia na composição textural da camada arável, os solos desse ecossistema apresentam limitações agrícolas como baixa resistência mecânica a operações de preparo de solo, baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca de cátions, baixa saturação por bases e baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes (HAYNES, 1970; GOMES; LEAL, 2003).

Além dos fatores citados, a região apresenta como característica natural uma elevada coesão subsuperficial dos seus horizontes. Estes horizontes apresentam elevada resistência à penetração do solo quando seco, e afetam o desenvolvimento radicular das plantas, a quantidade de água disponível, a aeração e a absorção de nutrientes, constituindo um inibidor físico que pode afetar a produção agrícola (CINTRA; LIBARDI; SILVA, 1997; REZENDE, 2000).

Apesar destas limitações, os solos coesos dos tabuleiros, quando bem manejados, atingem grande produtividade, conforme acontece com cana-de-açúcar, eucalipto, citros e outros (JACOMINE, 2001).

O manejo do solo adotado nos tabuleiros costeiros torna-se um componente fundamental do sistema de produção e um valioso instrumento na busca de uma atividade agrícola sustentável. Nesse contexto, o estudo da qualidade do solo assume papel importante através da observação e análise dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo, bem como dos aspectos característicos desse ecossistema.

Devido às limitações edáficas e naturais e à facilidade de degradação dos solos pelo manejo nesta região, o monitoramento da qualidade do solo por meio de indicadores é uma ferramenta importante para avaliar a taxa de degradação do solo com

o tempo de manejo, o grau de recuperação de áreas degradadas ou para selecionar práticas mais conservacionistas.

2.2 – A cana-de-açúcar nos tabuleiros do Estado de Alagoas

A zona costeira oriental do Nordeste, onde estão situados os tabuleiros, é uma faixa úmida, com precipitação pluviométrica favorável, o que permite o desenvolvimento de uma agricultura sem riscos de secas periódicas (JACOMINE, 1974).

Essa região é a zona agroindustrial da cana-de-açúcar, mas apesar do predomínio desse sistema de exploração, apresenta uma agricultura relativamente diversificada (coco, milho, feijão, mandioca e fruticultura), integrada com pecuária, em geral, num sistema de produção de subsistência, com pequena expressão econômica (EMBRAPA, 1994).

De acordo com Silva e Ribeiro (1997) a incorporação dos tabuleiros ao sistema produtivo, considerando a sua extensão, resultou em grandes benefícios à economia regional e em Alagoas principalmente na produção de cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar é exploração de importância básica para a economia alagoana, considerando a grande quantidade de empregos diretos e indiretos decorrentes da cultura. A extensa rede de atividades da agroindústria sucroalcooleira envolve um contingente de trabalhadores em várias etapas da produção (LIMA et al., 1979).

Tradicionalmente, ao longo dos quatro séculos de desenvolvimento da cultura canavieira em Alagoas e no Nordeste, as principais áreas de cultivo foram os vales úmidos irrigados pelos rios, as várzeas, bem como as colinas suaves encravadas nos tabuleiros, as encostas. Estas áreas eram consideradas como as mais adequadas para o plantio da cana-de-açúcar até que, em face da necessidade de expandir tal lavoura e aumentar a produção açucareira e alcooleira, passaram-se a incorporar gradativamente as terras de tabuleiros que, por fim, representaram a grande expansão da lavoura canavieira alagoana dos anos 50 em diante (LIMA, 2003).

A cana-de-açúcar tem sido cultivada de forma contínua e intensa ao longo do tempo nos tabuleiros, o que demonstra a potencialidade dos solos desse ecossistema e a adaptabilidade da cultura às características edafoclimáticas da região. Porém, a

necessidade de conservação ambiental e preservação dos diversos recursos presentes nos tabuleiros tem exigido que sua exploração seja sustentada e com menor impacto.

Sob pressão, os solos agrícolas têm sido intensivamente explorados, com conseqüente aumento do processo erosivo, perda de fertilidade e produtividade. O reflexo se observa na rentabilidade econômica das culturas, que cada vez é menor diante do custo cada vez maior de manter a produção em solos em processo de degradação (COLOZZI-FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999).

A utilização de culturas perenes ou semi-perenes, como a cana-de-açúcar, nos tabuleiros costeiros pode ser uma estratégia de grande importância para a conservação do solo, já que o preparo do mesmo é realizado com menor freqüência que para culturas de ciclo anual. Com isso, reduz-se o revolvimento do solo, minimizando-se os problemas relacionados a essa operação, como a aceleração da perda de matéria orgânica e a degradação da estrutura física do solo. Outro aspecto da cultura da cana-de-açúcar que pode contribuir sobremaneira para a preservação dos solos de tabuleiros costeiros é a capacidade desta cultura em prover abundante aporte de resíduos orgânicos ao solo. Contudo, a prática da despalha a fogo para colheita dos colmos, tradicionalmente empregada nos tabuleiros costeiros, resulta em grande perda deste resíduo, diminuindo a contribuição do mesmo para a manutenção ou elevação dos teores de matéria orgânica do solo.

O uso agrícola intensivo, empregando práticas tradicionais de manejo de solo e cobertura vegetal, evidencia a necessidade de uma nova postura a respeito das práticas de manejo, uma vez que os efeitos físicos, químicos e biológicos decorrentes acabam assumindo uma grande importância na qualidade dos solos (DORAN; PARKIN, 1994; TAVARES FILHO et al., 1999).

2.3 – Aspectos ambientais da colheita da cana-de-açúcar

O cultivo de cana-de-açúcar se estabeleceu sobre os mais diferentes tipos de solos do território brasileiro, desde areia quartzosas a latossolos, sendo estes últimos, juntamente com os podzólicos, os mais representativos (SILVA; RIBEIRO, 1997). Esses solos estão sob a influência de diferentes climas, o que resulta em vários tipos de ambientes para a produção desta cultura (MAULE; MAZZA; MARTHA, 2001).

Um aspecto ambiental importante da cultura da cana-de-açúcar é a forma como a colheita é realizada. Tradicionalmente o sistema de manejo de colheita da cana-de-açúcar é realizado com a queima do palhiço para facilitar o corte, o que proporciona vantagens operativas. Porém, do ponto de vista técnico, apresenta a limitação de eliminar um grande volume de material orgânico que poderia ser deixado na superfície do solo, contribuindo para manter os teores de matéria orgânica, favorecer a atividade biológica e promover melhoria na estruturação do solo.

Vários autores têm ressaltado a importância da realização da colheita da cana sem a prévia queima do palhiço para as propriedades do solo e para o ecossistema como um todo (BALL-COELHO et al., 1993; BLAIR, 2000; MENDONZA et al., 2000; LIMA et al., 2002; CAMPOS, 2003; BASANTA, 2004; SOUZA et al., 2005; RAZAFIMBELO et al., 2006). Além de conservar ou aumentar os níveis de matéria orgânica do solo, outras vantagens da colheita da cana sem queima são a melhoria da estrutura do solo (BLAIR, 2000), a conservação da umidade do solo (BALL-COELHO et al., 1993), a redução da erosão, a diminuição da temperatura (MENDONZA et al., 2000), a reposição de nitrogênio ao solo (BASANTA, 2004), a redução de gases de efeito estufa (CO_2, CO, CH_4, N_2O e NO_x) (LIMA et al., 2002; CAMPOS, 2003; BASANTA, 2004; RAZAFIMBELO et al., 2006) e a diminuição dos riscos da queimada sobre a saúde humana (ARBEX, 2001; ARBEX et al., 2004).

Os efeitos adversos da manutenção da palha foram observados também como a inibição da rebrota da soqueira da cana (efeito auto-alelopático) e dificuldades durante as operações de cultivo e adubação da soca (SOUZA et al., 2005). Entretanto, os efeitos negativos da queima, tais como redução da condutividade da água do solo, maior compactação, maior susceptibilidade à erosão, menor atividade microbiana, redução dos níveis de matéria orgânica, são lentamente cumulativos (BASANTA, 2004).

De acordo com Araújo (2005), algumas práticas agrícolas causam alterações nos atributos do solo que resultam no mau funcionamento e, em último caso, na degradação dos recursos naturais. Por outro lado, a utilização de práticas que promovam uma melhoria da qualidade do solo deve ser preconizadas com o objetivo de proporcionar as plantas condições favoráveis de desenvolvimento.

2.4 – Considerações sobre qualidade do solo

O uso sustentável dos solos agrícolas requer a manutenção de suas propriedades dentro de níveis de variação que permitam sua restauração sem afetar a produtividade e o meio ambiente (COLOZZI-FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999).

A qualidade do solo refere-se à capacidade de um solo de funcionar dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, sustentando a produtividade vegetal e animal, mantendo ou promovendo a qualidade da água e do ar, além de promover a saúde animal e vegetal (DORAN; PARKIN, 1994).

Entre os diversos esforços para se alcançar a sustentabilidade das práticas agrícolas a qualidade dos recursos naturais se destaca e entre estes a avaliação da qualidade do solo torna-se importante porque ela propicia uma estimativa das alterações de sua condição, decorrente de diversos fatores, como uso da terra, seqüências culturais e sistemas de manejos (DORAN; PARKIN, 1994).

A avaliação da qualidade do solo é realizada por meio da seleção de algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos indicadores (DORAN; PARKIN, 1994). Um eficiente indicador deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferencialmente, de fácil e barata mensuração (DORAN; ZEISS, 2000).

Segundo Islam e Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; e, entre esses dois extremos, estão os indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de qualidade do solo.

Lanna (2002) define que os indicadores da qualidade do solo podem ser divididos em dois componentes: qualidade inerente, a qual relaciona a capacidade de realizar funções críticas que não mudam com o tempo (composição elementar total) e

qualidade dinâmica, ou instável, a qual relaciona as funções que dependem do tempo e do manejo do solo, como, por exemplo, os fatores biológicos.

A avaliação da qualidade por meio de atributos do solo é bastante complexa devido à grande diversidade de usos, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados a sua variação no tempo e no espaço (MENDES; MELLONI; MELLONI, 2006).

Para Carvalho (2005) o critério para seleção de indicadores relaciona-se, principalmente, com a utilidade em definir os processos correntes no ecossistema. Estes integram as propriedades físicas, químicas e biológicas, além da sensibilidade a fatores com manejo, poluição e variações climáticas (DORAN, 1997).

2.5 – Indicadores de qualidade do solo

Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é um atributo sensível ao manejo, cuja qualidade pode ser analisada segundo variáveis relacionadas com sua forma e, ou, com sua estabilidade. O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola (COSTA et al., 2003).

Reichert; Reinert e Braida (2003) argumentam que a agregação e a compactação são dois processos importantes que também ocorrem nos solos agrícolas e que têm grande relação com a qualidade. Sua avaliação por meio de indicadores, associada a informações sobre crescimento vegetal e aspectos ambientais podem ser úteis para o estabelecimento de uma agricultura sustentável.

No caso dos solos dos tabuleiros costeiros o uso agrícola e o manejo empregado assumem papel importante especialmente nas condições de agregação do solo, tendo em vista a fragilidade das condições estruturais de resistências e limitações agrícolas apresentadas por estes.

De acordo com Dufranc; Dechen e Freitas (2004) o estado de agregação do solo é de grande importância para as atividades agrícolas, uma vez que está relacionado com a aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água.

Mendes e outros (2003) explicam que os agregados do solo são compostos de partículas primárias (argila, silte e areia) e matéria orgânica que se aderem umas às outras. A presença de agregados estáveis potencializa a capacidade de armazenamento de água, diminui as perdas de partículas e nutrientes por processos erosivos e facilita a proteção física e o acúmulo da matéria orgânica no solo.

A formação e estabilização de agregados dependem de fatores abióticos relacionados à presença de cátions e fatores bióticos envolvidos na agregação, classificados quanto a sua resistência à ação microbiana em: persistentes, transicionais e temporários. Os persistentes são os materiais orgânicos humificados, associados aos óxidos de Fe e Al, que estão envolvidos na formação de microagregados do solo. Os transicionais são os polissacarídeos rapidamente decompostos pelos microrganismos e estão associados à estabilidade dos macroagregados do solo. E os agentes temporários são as hifas de fungos e raízes, que permanecem no solo por semanas, meses ou até anos, estão associados aos macroagregados (TISDALL; OADES, 1982).

A diminuição da estabilidade em água e a destruição dos agregados naturais são ressaltadas como conseqüência da diminuição do conteúdo da matéria orgânica decorrente do manejo agrícola inadequado (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (ARAUJO; TORMENA; SILVA, 2004). No entanto, outros fatores determinantes da qualidade do solo também precisam ser avaliados para que a dinâmica dos diversos processos ocorridos no solo seja bem interpretada.

O conteúdo e a qualidade da matéria orgânica também constituem atributos dos solos que podem ser utilizados para avaliar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (MIELNICZUK, 1999). A manutenção da quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo é importante, pois ela tem papel fundamental na estruturação, fertilidade e atividade biológica do ecossistema solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) apresenta-se como um sistema complexo de substância, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (CAMARGO; SANTOS; GUERRA, 1999).

Sistemas de cultivo com intensa mobilização do solo, desflorestamento, queima de campos naturais destacam-se por proporcionarem diminuição na quantidade de MOS e conseqüentemente redução na qualidade do solo (SPAGNOLLO, 2004).

Alterações nas características químicas do solo como o teor do carbono orgânico e suas frações têm sido observados em função do tipo de colheita adotada para a cultura da cana-de-açúcar (BALL-COELHO et al., 1993; CORRÊA; CANSOLINI; CENTURION, 2001; BLAIR, 2000; CANELLAS et al., 2003; SILVA; CABEDA; CARVALHO, 2006).

De acordo com Canellas e outros (2003) o entendimento das modificações nas propriedades químicas do solo, decorrentes do cultivo contínuo de cana-de-açúcar, pode fornecer elementos para a produção em bases mais sustentáveis.

Segundo Karlen e outros (1994), alterações na quantidade e na qualidade da MOS promovidas pelo cultivo podem ter impacto em todas as propriedades do solo e influenciar a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana.

A atividade biológica do solo inclui todas as reações metabólicas celulares, suas interações e seus processos bioquímicos mediado ou conduzidos pelos organismos do solo, podendo ser avaliada por diversos parâmetros (SIQUEIRA et al., 1994). Entre eles a atividade enzimática, taxa de respiração, diversidade e biomassa microbiana são indicadores biológicos e bioquímicos do solo sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais devido ao uso agrícola, sendo ferramenta para orientar o planejamento e a avaliação dos manejos utilizados (DORAN; PARKIN, 1994).

Os microrganismos têm um papel importante no funcionamento e na sustentabilidade do agrossistema porque atuam na gênese e morfologia dos solos, na troca de nutriente solo-planta e, principalmente, na ciclagem de compostos orgânicos estabelecendo estreita cadeia de relação causa e efeito (COLOZZI-FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999).

A biomassa microbiana do solo é definida como o componente vivo da matéria orgânica, sendo composta de fungos, bactérias, microfauna e algas, tem participação fundamental na transformação da matéria orgânica, nos ciclos biogeoquímicos e no fluxo de energia de interesse para a produtividade agrícola (JENKINSON; LADD, 1981; DE-POLLI; GUERRA, 1997).

A quantidade e qualidade da biomassa microbiana estão associadas a diversos fatores intrínsecos e extrínsecos à matriz do solo, como variações de textura num mesmo tipo de solo, efeitos cumulativos do tipo de manejo, além da qualidade e quantidade dos resíduos produzidos acima e abaixo da superfície do solo pelas seqüências de culturas (VENZKE FILHO, 2003).

A biomassa microbiana é capaz de fornecer informações rápidas sobre mudanças nas propriedades do solo, detectar mudanças causadas por cultivo, devastação, ou práticas de regeneração de solos, bem como pela poluição do solo (POWLSON; BROOKES; CHRISTENSEN, 1987).

Assim, a biomassa microbiana representa um indicador da qualidade do solo. No entanto, corresponde a uma estimativa quantitativa da população microbiana sendo, portanto, necessários outros parâmetros capazes de avaliar a atividade dos microrganismos do solo tais como a atividade enzimática e a respiração microbiana.

A atividade enzimática no solo proporciona catálise de inúmeras reações necessárias ao ciclo de vida dos microrganismos, na decomposição de resíduos orgânicos durante o ciclo de nutrientes e na formação da matéria orgânica e estrutura do solo (BURNS; DICK, 2002; PEREIRA et al., 2004). As enzimas responsáveis por estas atividades podem estar localizadas no interior de células de organismos vivos ou mortos, livres ou ligadas a colóides do solo (LYNCH, 1986).

As enzimas do solo têm sido sugeridas como um potencial indicador de qualidade do solo por causa da sua relação à biologia do solo, ser de fácil avaliação e de responder rapidamente as mudanças de manejo (BANDICK; DICK, 1999).

Entre os diversos métodos para estimar a atividade enzimática microbiana no solo, a hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) é um método que avalia a atividade hidrolítica por várias enzimas (lípases, proteases e esterases) presente nos microrganismos e, por esse motivo, tem sido usado para avaliar a atividade microbiana nas amostras de solo (SCHNÜRER; ROSSWALL, 1982; ADAM; DUNCAN, 2001).

A atividade enzimática medida pela hidrólise de FDA tem se mostrado como um método rápido, simples e sensível em medir a atividade microbiana total e utilizada para diferenciar padrões de manejos, alterações decorridas dos efeitos da degradação e ou recuperação do solo e estabelecer correlações com propriedades e atributos do ambiente

como observados por Costa (1995); Ghini; Mendes e Bettiol (1998); Gaspar e outros (2001); Godoi (2001); Silva; Siqueira e Costa (2004); Carvalho (2005).

CAPÍTULO I

SANT'ANNA, Selenobaldo Alexinaldo Cabral. Indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas. In: _____. **Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.** 2007. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2007.

Resumo

A busca de práticas agrícolas que associem alta produtividade de cana-de-açúcar e sustentabilidade dos agroecossistemas em que ela está inserida tem sido um grande desafio, especialmente nos tabuleiros costeiros. A avaliação de variáveis de solo que sejam sensíveis ao manejo e robustas a outras fontes de variação é importante para mensurar o impacto de diferentes práticas sobre a conservação dos solos. O objetivo deste trabalho foi selecionar variáveis indicadoras da conservação do solo que atendam aos critérios acima. Para isso, dez amostras compostas de solo (0-10 cm) foram coletadas de áreas sob cana-orgânica (CO), cana-crua (CC), e cana-queimada (CQ), bem como de uma mata nativa (MN) adjacente, usada como referência da condição não-manejada. A amostragem foi realizada em duas datas: julho de 2005 (chuva) e março de 2006 (seca). Avaliaram-se o C da biomassa microbiana (CBM), o C orgânico total (COT), a atividade enzimática do solo pela taxa de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), o diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMA) e a percentagem de macroagregados (PMA). Embora CBM e COT tenham sido maiores na MN que nas áreas cultivadas, elas não diferiram entre os três sistemas de manejo da cana-de-açúcar. A resposta de FDA aos manejos foi dependente da época de amostragem. No período chuvoso, os valores desta variável seguiram a ordem: MN > CO > CC > CQ; na época seca, apenas MN diferiu dos demais tratamentos. Independentemente da data de coleta, DMA e PMA decresceram na ordem MN > CO = CC > CQ. As variáveis DMA e PMA apresentaram sensibilidade satisfatória para diferenciar manejos de cana-de-açúcar e alta robustez à data de coleta. Dentre as demais variáveis, apenas FDA apresentou potencial em diferenciar os manejos da cana-de-açúcar; mas, nesse caso, a interpretação dos resultados variou com a data de amostragem.

Palavras-Chave: Agroecossistemas, diacetato de fluoresceína, agregado de solo e manejo do solo.

SANT'ANNA, Selenobaldo Alexinaldo Cabral. Physical, chemical and biological indicators of soil quality in areas under cultivation of sugarcane in the coastal tablelands of Alagoas State**.** In: _____. **Soil quality indicators in sugarcane areas in Coastal Tablelands Alagoas State.** 2007. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2007.

Abstract

The search for agricultural practices that integrate high sugarcane productivity and the sustainability of the agroecosystems in which this crop is grown is a major challenge, especially in the coastal tableland areas. The evaluation of soil variables that are at the same time sensitive to management practices and robust to other sources of variation is important to measure the impact of different agricultural practices on the soil conservation status. The objective of this work was to select indicator variables of soil conservation that fulfill the criteria above. For this, ten composite soil samples (0-10 cm) were taken from areas grown with organic sugarcane (OS), unburned sugarcane (US), and burned sugarcane (BS), as well as from an adjacent native forest (NF) used as a reference of the undisturbed condition. Sampling was carried out at two dates: July, 2005 (rainy season); and March, 2006 (dry season). The following variables were analyzed: microbial biomass-C (MBC), total organic C (TOC), soil enzyme activity by the fluorescein diacetate (FDA) hydrolysis technique, the weighed mean diameter of water stable soil aggregates (WSA), and the percent of macroaggregates (PMA). MBC and TOC were higher in NF than in the cultivated areas. No differences were observed in these C pools between the three sugarcane management treatments. The response of FDA to the crop management was dependent on the sampling time. In the rainy period, the activity followed the order: NF > OS > US > BS; in the dry season, only NF differed from the other treatments. Irrespective to the sampling time, WSA and PMA decreased according with the order NF > OS = US > BS. The variables WSA and PMA were quite sensitive to discriminate between sugarcane managements, and, at the same time, robust to seasonal variations.

Key Words: Agroecosystem, fluorescein diacetate, soil aggregates and soil management.

1.1 – Introdução

A busca de práticas agrícolas que proporcionem acréscimo na produtividade da cana-de-açúcar, mas com sustentabilidade aos agroecossistemas em que ela está inserida tem sido um grande desafio. Isto é especialmente válido no caso do ecossistema dos tabuleiros costeiros de Alagoas, onde a cana-de-açúcar domina a paisagem com grande influência econômica e ambiental.

Este ecossistema corresponde a 6% da área total do Nordeste (SILVA et al., 1993) e contribui com 26% e 38% do PIB gerado pelas culturas temporárias e permanente na região (CINTRA; LIBARDI; SAAD, 2000). Este potencial agrícola advém da topografia plana a suavemente ondulada, do regime pluviométrico favorável e do mercado consumidor próximo às áreas de Produção (GOMES; LEAL, 2003). Contudo, em razão do baixo teor de matéria orgânica, da presença de argila de baixa atividade e das proporções consideráveis de areia na composição textural, os solos desse ecossistema apresentam limitações agrícolas como baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca de cátions e de retenção de água, e fraca agregação (HAYNES, 1970). Porém, esses solos, se bem manejados, atingem grande produtividade, como acontece com cana-de-açúcar, eucalipto, citros e outros (JACOMINE, 2001). Assim, o manejo do solo e da cobertura vegetal adotado nos tabuleiros costeiros torna-se um componente fundamental do sistema de produção e um valioso instrumento na busca de uma atividade agrícola sustentável.

Nestes ambientes, estratégias de manejo agrícola que incorporem práticas de baixo revolvimento do solo e coberturas vegetais com alta produtividade de resíduos devem ser priorizadas. Estas, além de reduzirem a degradação da estrutura do solo, resultam em maior aporte de resíduos ao solo e em menor taxas de decomposição da matéria orgânica.

Entre as diversas culturas desenvolvidas nos tabuleiros costeiros a cana-de-açúcar se destaca por ser de caráter semiperene, com grande produção de resíduos ao final de cada ciclo de cultivo e com baixo revolvimento do solo. No entanto, a conservação dos recursos naturais e a manutenção da qualidade do solo têm sofrido alterações na região devido ao cultivo contínuo e intensivo e à eliminação dos resíduos com a queima da palhada na colheita.

Os resíduos vegetais que permanecem na superfície do solo após a colheita das culturas são uma fonte importante de carbono, nitrogênio e outros elementos, que bem manejado, contribui na manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo e na ciclagem dos nutrientes (FURLANI NETO; RIPOLI; VILA NOVA, 1997).

A queima reduz a matéria orgânica do solo e isso pode provocar diversos efeitos indiretos na qualidade do solo, já que a matéria orgânica é importante para a melhoria da agregação do solo, da atividade microbiana e da retenção de água e nutrientes. Alterações nestas propriedades impactam a infiltração e a retenção de água, a disponibilidade e armazenamento de nutrientes, a aeração, e as taxas de processos erosivos.

Nesse contexto, o estudo da qualidade do solo assume papel importante por meio da observação e análise dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo. E que pode ser realizado acompanhando a variação do desempenho desses indicadores, ao longo do tempo, ou comparando esse desempenho com valores de referência, que podem ser estabelecidos a partir de resultados de pesquisa ou obtidos em ecossistemas naturais próximos as áreas avaliadas (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

A importância de se avaliar esses indicadores está na possibilidade de monitorar mudanças negativas e positivas em variáveis envolvidas com processos de importância para a qualidade do solo decorrente do tipo de cultivo e manejo aplicados.

E dessa forma os indicadores selecionados devem apresentar sensibilidade, robustez a variações sazonais, viabilidade econômica, simplicidade, repetitibilidade e relacionar-se com outros indicadores e permitir analisar essas relações.

Este trabalho teve como objetivos avaliar a sensibilidade de variáveis físicas, químicas e biológicas do solo em diferenciar manejos de cultivo e colheita de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros, e avaliar a robustez destas às variações sazonais.

1.2 – Material e Métodos

1.2.1 – Localização e características da área estudada

Amostras de solo foram coletadas (0-10 cm) de talhões de 120 x 67 m submetidos a três diferentes sistemas de cultivo ou colheita de cana-de-açúcar e de uma área sob mata nativa adjacente (MN), utilizada como referência da condição de solo não-manejado. Todas as áreas amostradas localizam-se em um Argissolo Amarelo

(Tabela 1), na Usina Triunfo Agroindustrial, Município de Boca da Mata entre os paralelos 9° 40' 47" e 9° 42' 30" S e os meridianos 36° 08' 12" e 36° 05' 03" W na região centro oeste de Alagoas (Figura 1).

Figura 1. Faixa dos tabuleiros costeiros na região Nordeste do Brasil com destaque para o Estado de Alagoas, adaptado de Silva e outros (1993).

Os sistemas de manejo estudados foram o de cana colhida após queima da palhada (cana-queimada, CQ), cana colhida sem queima (cana-crua, CC) (Figura 2 e 3) e cultivo de cana orgânica (CO) (Tabela 2) (Figura 4A).

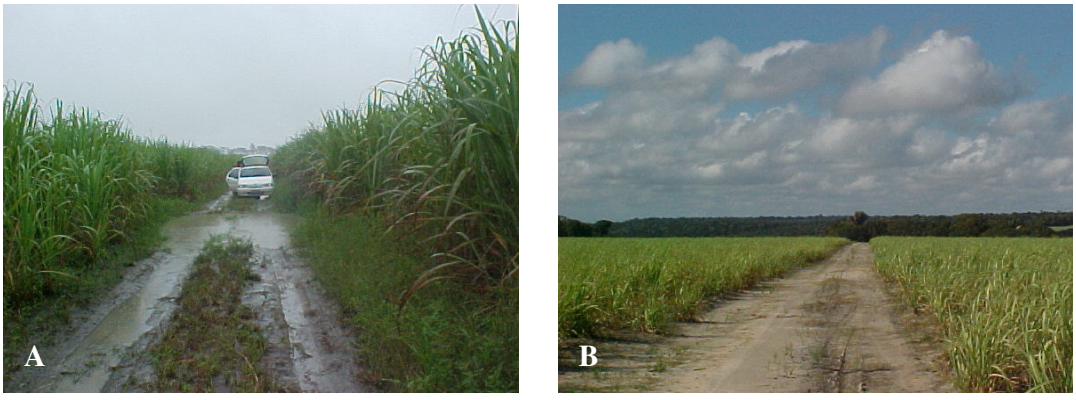

Figura 2. Área de cultivo de cana crua, estação chuvosa (A) e seca (B) (Fotos autor).

Figura 3. Vista parcial do solo de cultivo de cana crua (A) e de cana queimada (B) (Fotos autor).

As amostras foram coletadas em duas épocas: julho de 2005 (estação chuvosa) e março de 2006 (estação seca). Em cada talhão e na área de mata nativa (Figura 3B), dez pontos de amostragem foram selecionados e georeferenciados. Ao redor destes pontos delimitaram-se áreas de 314 m^2 a partir das quais retiraram-se dez amostras simples. Estas foram misturadas de modo a se obter uma amostra composta por ponto amostral. As amostras foram transportadas sob refrigeração para o laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Tabuleiros Costeiros (Aracaju, SE) onde foram processadas.

Figura 4. Borda entre o cultivo de cana orgânica e a mata nativa (A), e solo de mata (B) (Fotos autor).

As análises microbiológicas foram realizadas em amostras de solo na umidade de campo; as demais, em amostras secas ao ar. As análises de solo para variáveis químicas e microbiológicas foram realizadas em solo peneirado em malha de 2 mm, e as físicas, em solo peneirado em malha de 4 mm.

1.2.2 – Determinação do carbono orgânico total (COT)

A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada pelo método descrito por Luchese; Fávero; Lenzi (2001). Para isso, 0,25 g de solo foram misturados a uma solução de dicromato de potássio $K_2Cr_2O_7$ (0,1667 $mol.L^{-1}$) e a oxidação da matéria orgânica na presença de ácido sulfúrico concentrado e em seguida o conteúdo de C foi determinado por titulação com sulfato ferroso $FeSO_47H_2O$ (1,0 $mol.L^{-1}$).

1.2.3 – Carbono da biomassa microbiana (CBM)

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método de fumigação-extração (FE) (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987; DE-POLLI; GUERRA, 1997). A quantificação do C nos extratos de amostras de solo fumigadas e não-fumigadas foi realizada por colorimetria (BARTLETT; ROSS, 1988). Apenas as amostras provenientes da época seca foram utilizadas para esta análise. De cada amostra foram retiradas duas subamostras de 20 g de solo sendo uma fumigada (F) com clorofórmio ($CHCl_3$) e a outra não fumigada (NF). O CBM foi extraído adicionando sulfato de potássio (K_2SO_4) 0,5 $mol.L^{-1}$ ao solo F e NF em agitação a 150 rpm por 1 hora. E em seguida determinado por colorimetria utilizando solução composta por pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7$) 0,1 M; ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,5 M; permanganato de potássio ($KMnO_4$) 0,1 M e sulfato de manganês mono-hidratado ($MnSO_4H_2O$) 0,1 M e oxidação com ácido sulfúrico concentrado e em seguida determinada à absorbância com o comprimento de ondas de 490 nm em espectrofotômetro. Estas análises foram realizadas em triplicatas.

1.2.4 – Atividade Enzimática Microbiana

A atividade enzimática microbiana foi quantificada pelo método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), descrito por Schnürer; Rosswall (1982) e modificado por Costa (1995). Para tanto, 8 g de solo foram incubados com tampão fosfato de sódio (pH 7,5) por 40 minutos a 125 rpm. Subseqüentemente foi adicionada uma alíquota de 0,5 mL da solução estoque de FDA (Sigma Chemical Co., St.Louis, MO) e agitada por 60 minutos a 125 rpm. Logo após, a reação de hidrólise de fluoresceína foi paralisada com acetona, centrifugada e determinada a absorbância no comprimento de onda de 490 nm. As análises foram realizadas em triplicatas.

1.2.5 – Estabilidade de Agregados

O diâmetro médio dos agregados estáveis em água (DMA) foi determinado a partir das massas de solo retidas em peneiras com malhas de 2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 mm de abertura, após peneiramento úmido em um aparelho de oscilação vertical de acordo com Yoder (1936). O equipamento foi ajustado para realizar 42 ciclos por minuto, com altura de oscilação das peneiras de 4 cm, por um período de 5 min. Previamente à análise, as amostras de solo foram reumedecidas por capilaridade.

A porcentagem de macroagregados (PMA) (diâmetro > 0,25 mm) foi determinada a partir das massas de solo retidas em peneiras com malhas de 2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 mm de abertura após peneiramento úmido, pela equação:

$$PMA = \frac{MS - wp0{,}25 - areia}{MS - areia},$$

em que PMA é a percentagem de macroagregados (%), MS é a massa seca da amostra, g e $wp0{,}25$ é a massa dos agregados da classe > 0,25 mm, g.

1.2.6 – Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa S-Plus (versão 4.0) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Bonferroni a 5 % de probabilidade.

1.3 – Resultados e Discussão

Os talhões sob os três sistemas de cana-de-açúcar localizam-se em áreas com características de solo muito similares entre si (Tabela 1), indicando a adequação da escolha destes sítios para a comparação dos efeitos dos sistemas de cultivo e colheita sobre as variáveis analisadas. Embora o sítio sob MN tenha sido usado como referência de área não-manejada, ele apresenta maiores teores de argila que os sítios de cana-de-açúcar. Com isso, as diferenças observadas nas variáveis estudadas entre MN e os sítios cultivados podem estar parcialmente associadas a diferenças na textura.

Tabela 1. Textura, consistência e classificação dos solos dos sítios amostrados. UFS, São Cristóvão-SE, 2007

Sítio	Argila (kg kg^{-1})	Textura	Consistência†			Classe de solo
			Resistência à ruptura (seco)	Pegajosidade	Plasticidade	
CQ	70	Franco arenosa	Levemente duro	Não pegasoso	Não plástico	Argissolo Amarelo
CC	78	Franco arenosa	Levemente duro	Não pegasoso	Não plástico	Argissolo Amarelo
CO	78	Franco arenosa	Levemente duro	Não pegasoso	Não plástico	Argissolo Amarelo
MN	226	Franco argilo arenosa	Moderadamente duro	Levemente pegajoso	Levemente plástico	Argissolo Amarelo

†National Soil Survey Center, NRCS, USDA (SCHOENEBERGER et al., 2002).

O teor de argila afeta as variáveis estudadas: agregação, biomassa e COT. Visto que a argila possui maior poder de agregação do que as partículas mais grosseiras como silte e areia, apresenta maior superfície específica, maior densidade de carga, maior capacidade de floculação com cátions divalentes e trivalentes, maior capacidade de complexação com compostos orgânicos, propiciando maior proteção destes compostos contra a decomposição na matriz do solo e em agregados com maiores teores de argila formam-se poros de menor diâmetro que podem proteger bactérias da predação por protozoários e nematóides e contra dessecação aumentando conseqüentemente a biomassa e a atividade microbiana.

A MN apresentou maiores valores de COT (Figura 1) e CBM (Figura 2) que os três sítios sob cana-de-açúcar, os quais, por sua vez, não diferiram entre si quanto a estas variáveis. Os valores de COT não foram afetados pela época de amostragem ($P>0,05$). Maiores valores de COT e CBM sob mata, comparativamente a áreas cultivadas, também foram observados por Matsuoka; Mendes; Loureiro (2002) e Baretta e outros (2005).

Embora recentemente a queima do palhiço seja aplicada apenas no sítio de CQ, esta operação foi sistematicamente utilizada para a colheita nas áreas de CC e CO por pelo menos 20 anos antes da conversão para os sistemas atuais (Tabela 2).

Assim, é provável que parte das diferenças em COT e CBM entre os três sítios de cana e a MN deva estar relacionada à redução do aporte de resíduos de cana-de-açúcar ao solo durante este período. No entanto, deve-se considerar ainda que diferenças texturais observadas entre o solo dos sítios sob MN e sob cana-de-açúcar também

podem ter contribuído para as diferenças observadas entre estes sítios nos teores de COT e CBM.

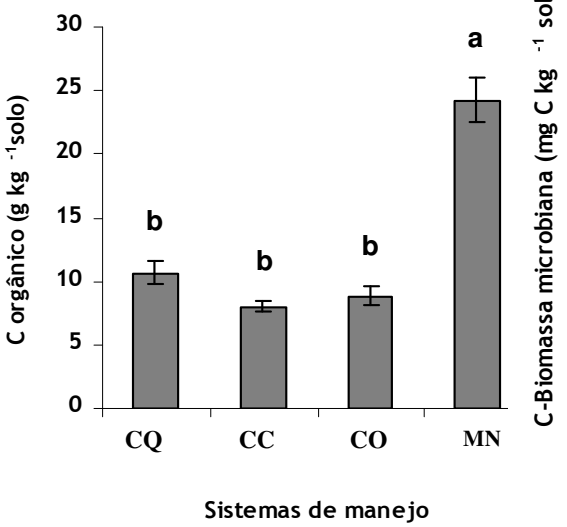

Figura 5. Médias (± 1 EP) dos teores de carbono orgânico do solo (0-10 cm) de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN). Médias com mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

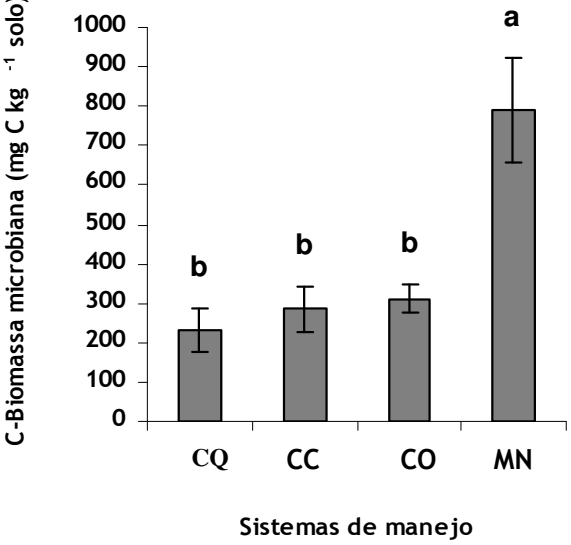

Figura 6. Médias (± 1 EP) dos teores de carbono da biomassa microbiana de solo (0-10 cm) de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN). Médias com mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

Embora as quantidades de resíduos adicionadas ao solo pela CC e CO sejam maiores que os observados na CQ (Tabela 2), o COT não diferiu entre os três manejos de cana. Deve-se considerar ainda que a CO, além de receber maior aporte de resíduos que CC, também foi convertida para o sistema sem queima cinco anos antes deste último. Apesar disto, diferenças em COT e CBM entre estes dois sítios também não foram observadas. Em regiões tropicais, a atividade microbiana é acelerada pelas elevadas temperaturas e umidade, resultando em maiores taxas de decomposição de resíduos e em maior dificuldade em incrementar os teores de COT a curto prazo (SILVA; CABEDA; CARVALHO, 2006).

No entanto, o CBM tem sido relatado por diversos autores de ser mais sensível ao manejo de solo e à adição de resíduos do que COT. Porém, ao contrário destes relatos, nossos resultados não evidenciaram esta maior sensibilidade da variável biológica em diferenciar entre os três sistemas de cultivo de cana-de-açúcar.

Tabela 2. Histórico e estimativa de aporte anual de C nos sítios de cana-de-açúcar amostrados. UFS, São Cristóvão-SE, 2007

Tratamento	Anos sob cana-queimada previamente à conversão para o manejo atual	Anos sob o manejo atual	Principais operações de campo nos diferentes sistemas de cana-de-açúcar (mês/ano)	Estimativa do aporte de C (t C ha^{-1} ano^{-1})
CQ	25	28	Plantio e adição do composto e fertilizante (out/02). Queima, colheita e adição de vinhaça (dez/03, nov/04, dez/05). Variedade RB 83594	Composto: 7 t C ha^{-1} no sulco de plantio Vinhaça: 3,6 t C ha^{-1} ano^{-1} Palhada: 1,1 t C ha^{-1} ano^{-1}
CC	25	3	Plantio e adição do composto e fertilizante (out/02) Colheita e adição de vinhaça (dez/03, nov/04, dez/05). Variedade RB 83594	Composto: 7 t C ha^{-1} no sulco de plantio Vinhaça: 3,6 t C ha^{-1} ano^{-1} Palhada: 4,9 t C ha^{-1} ano^{-1}
CO	20	8	Plantio do coquetel de leguminosas (ago/96) Incorporação da leguminosa, adição de composto e plantio da cana (nov/96) Colheitas e adições de vinhaça (jan/98 a 05). Variedade RB 83594	Composto: 10 t C ha^{-1} no sulco de plantio Leguminosa: 2,2 t C ha^{-1}, na renovação do canavial Vinhaça: 3,6 t C ha^{-1} ano^{-1}; Palhada: 4,9 t C ha^{-1} ano^{-1}

Mendonza e outros (2000) encontraram em solos de tabuleiros do Espírito Santo diferenças mais significativas entre os valores da biomassa microbiana em sítios de cana queimada e cana crua durante a estação chuvosa comparado a época mais seca quando as diferenças entre os dois sítios foram menores e estes atribuíram as condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento da população microbiana como condições climáticas mais amenas e ao maior aporte de resíduos da cultura.

Fatores climáticos interferentes menos favoráveis como temperaturas mais elevadas e teor de umidade mais baixo, assim como o menor aporte de resíduos durante a época seca podem ter contribuído para ausência de diferenças significativas entre os três manejos de cana avaliados em relação ao CBM.

Para FDA, a análise de variância indicou interação significativa entre época de coleta e os sistemas avaliados (P<0,001) (Figura 3). Durante a época chuvosa, esta variável decresceu de acordo com a seqüência: MN > CO > CC > CQ; ao passo que, na época seca, a seqüência observada foi MN > CO = CC = CQ.

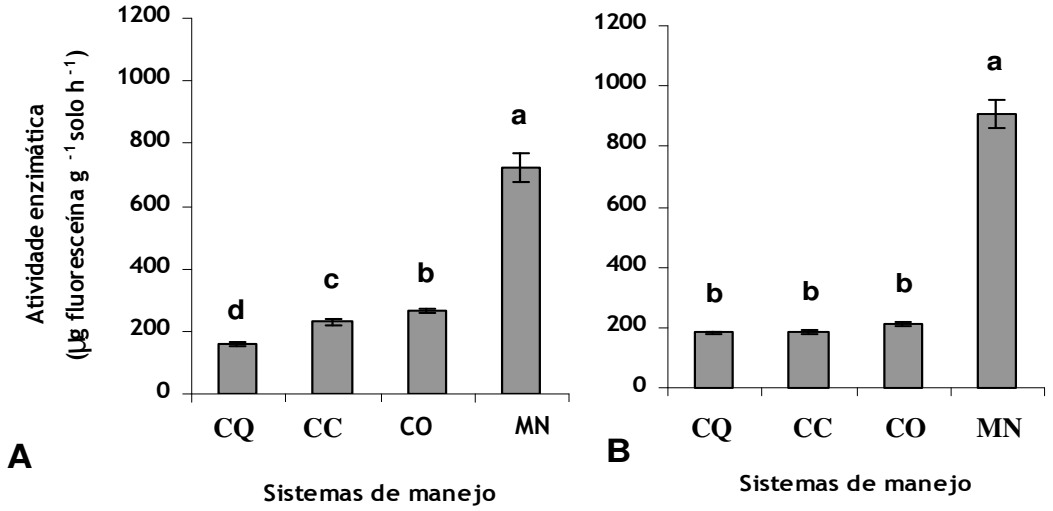

Figura 7. Médias (± 1 EP) da atividade enzimática do solo, determinada pela hidrólise do diacetato de fluoresceína, em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN), na época chuvosa (A) e seca (B). Médias com mesma letra, dentro de cada época de coleta, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

Os resultados da FDA para época seca estão em consonância com os observados para CBM para os manejos de cana e que reforçam a hipótese da atuação de fatores limitantes como a temperatura e a baixa umidade atuantes também na atividade microbiana observada.

As diferenças notadas durante a época chuvosa decorrem possivelmente da influência menor dos fatores limitantes da época seca e ao incremento diferenciado de material orgânico entre os três manejos.

Esta inconsistência de resposta entre as duas datas avaliadas é uma possível limitação da técnica para monitoramento da qualidade do solo na região estudada tendo em vista que ela separou os manejos de cana apenas na época das condições climáticas mais favoráveis. No entanto, estudos abrangendo avaliações mais prolongadas são necessários para confirmação destes resultados. Diferenças na precipitação pluviométrica, na etapa do ciclo da cultura e nas operações de manejo entre as épocas de amostragem podem explicar esses resultados.

Em relação à PMA (Figura 4) e ao DMA (Figura 5), observaram-se efeitos simples de sistemas de manejo (P<0,01) e de épocas (P<0,01), mas a interação entre estes fatores não foi significativa (P>0,05).

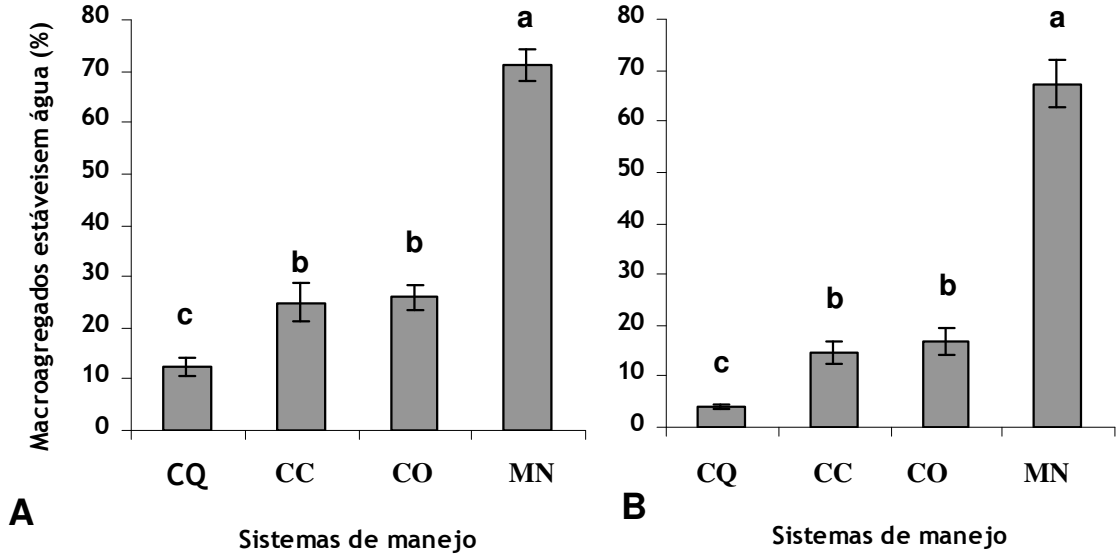

Figura 8. Médias (± 1 EP) da percentagem de macroagregados de solo (>0,25 mm) estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN), na época chuvosa (A) e seca (B). Médias com mesma letra, dentro de cada época de coleta, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

Assim, independentemente da data avaliada, as variáveis apresentaram a seguinte seqüência de valores: MN > CO = CC > CQ. Isto demonstra que essas duas análises físicas apresentaram maior consistência dos resultados entre as duas datas de avaliação, ao mesmo tempo em que apresentaram boa capacidade de separar alguns dos manejos de cana-de-açúcar (Figura 6).

Dados semelhantes para PMA e DMA foram obtidos para áreas de cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada por Blair (2000); Souza e outros (2005) que atribuíram esse efeito às diferenças no aporte e manutenção da matéria orgânica no solo.

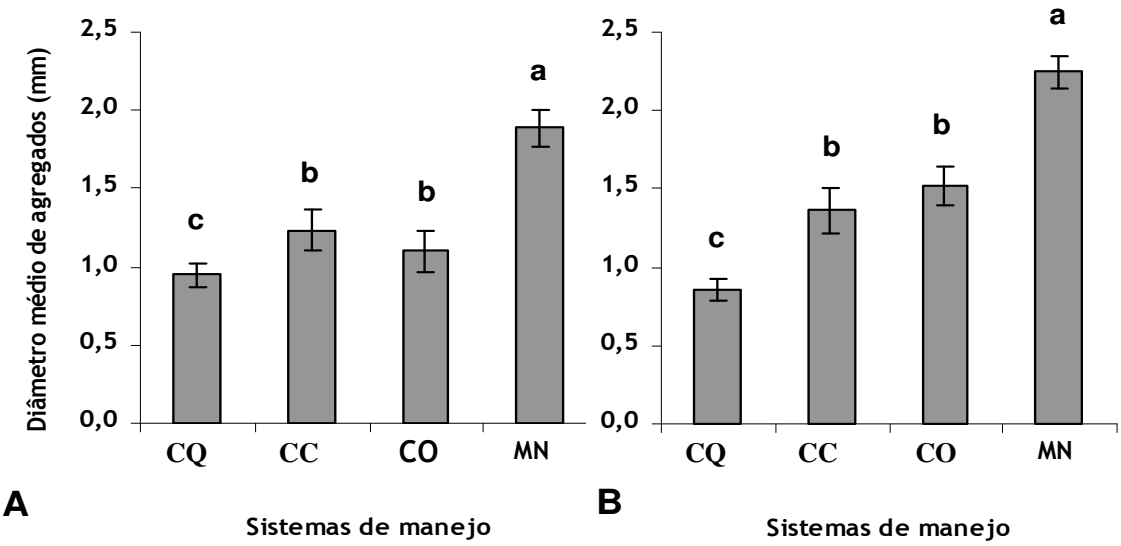

Figura 9. Médias (± 1 EP) do diâmetro médio de agregados de solo estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-queimada (CQ), cana-crua (CC) e cana-orgânica (CO), e sob mata nativa (MN), na época chuvosa (A) e seca (B). Médias com mesma letra, dentro de cada época de coleta, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Bonferroni. UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

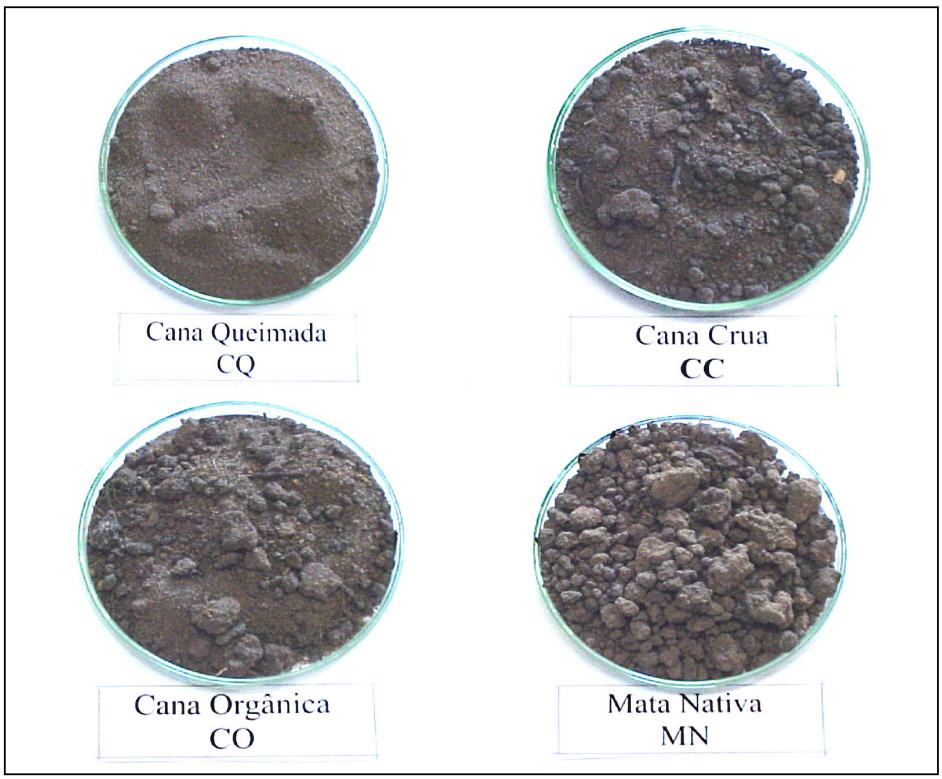

Figura 10. Perfil dos agregados dos solos amostrados (foto autor).

Das variáveis estudadas, PMA e DMA atendem aos critérios de sensibilidade ao manejo e robustez a outras fontes de variação, como a data de amostragem.

1.4 – Conclusões

- Não é possível diferenciar manejos de cultivo e colheita de cana-de-açúcar empregando as variáveis COT e CBM;
- A sensibilidade da hidrólise de FDA para discriminar os diferentes manejos de cultivo e colheita de cana mostra-se dependente da época de amostragem,
- As variáveis PMA e DMA apresentam sensibilidade ao manejo e robustez a outras fontes de variação, como a data de amostragem;Os resultados deste trabalho indicam que o manejo de CQ reduz a qualidade do solo em relação aos manejos mais conservacionistas.

1.5 – Referências Bibliográficas

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5 p 715-724. 2005.

BARTLETT, R.J.; ROSS, D.N. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, 52:1191-1192. 1988.

BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar -cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, 55 p. 183-191. 2000.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, 4:23-28. 2000.

COSTA, J.L.S. **Inducing suppressiveness to Phytophthora root of avocado by using biochanced mulches.** Tese de Doutorado. University of California, Riverside, CA. 1995. 154p.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo: Método da Fumigação-Extração. Embrapa Agrobiologia, **Documento 37**. p10. 1997.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison. n 35. p.3-22. 1994.

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.; VILA NOVA, N.A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhiço remanescente de colheita mecânica. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.15, p.24-27, 1997.

GOMES, J.C.; LEAL, E.C. Cultivo da Mandioca para a Região dos Tabuleiros Costeiros. Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Sistema de Produção,** 11. 2003.

HAYNES, J.L. **Uso agrícola dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil: um exame das pesquisas.** 2 ed. Recife: SUDENE. 139p. 1970.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**, Anais, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p.19-46. 2001.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J. et al. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of American Journal,** Madison, 61:4-10. 1997.

LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática.** Rio de Janeiro. Freitas Bastos, 182p. 2001.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos de cerrado e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 34**. Brasília: Embrapa, 25p. 2002.

MENDONZA, H.N.S.; LIMA E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B.; ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.24, p.201-207, 2000.

SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, Washington 43: 1256-1261. 1982.

SCHOENEBERGER, P.J., WYSOCKI, D.A., BENHAM, E.C., E BRODERSON, W.D. **Field book for describing and sampling soils**, v.2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, EUA. 2002.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585. 2006.

SILVA, F.B.R.; RICHÉ, G.R.; TONNEAU, J.P. et al. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, CNPS. 2v, 1993.

SILVA, M.; SIQUEIRA, E.R.; COSTA, J.L.S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência. Rural**, Set./Oct., vol.34, n^{o}.5, p.1493-1496. 2004.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford. 19:703-707, 1987.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, 28:337-357. 1936.

CAPÍTULO II

SANT'ANNA, Selenobaldo Alexinaldo Cabral. Distribuição da atividade enzimática em agregados do solo dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas In: _____. **Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.** 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2007.

Resumo

Dada a alta interdependência entre aspectos microbianos e a agregação do solo, espera-se que variáveis microbianas possam refletir alterações nas propriedades físicas do solo e sejam adequadas como indicadores de sustentabilidade do solo. A hipótese do presente trabalho é de que a atividade microbiana, medida como a hidrólise do diacetato de fluoresceína, aumentará monotonicamente com o incremento do diâmetro dos agregados do solo. A observação desta associação poderá permitir o uso da hidrólise de diacetato de fluoresceína, cuja execução laboratorial é fácil, rápida e de baixo custo, como indicador do estado de agregação do solo. Deste modo, este trabalho teve como objetivo analisar a distribuição da atividade enzimática medida pela hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) em diferentes classes de agregados estáveis em água em amostras de solos. Cinco amostras compostas de solo (0-10 cm) foram coletadas de áreas sob cana-crua (CC) e mata nativa (MN) adjacente. Foram determinados o diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) e a percentagem de macroagregados (PMA). A atividade de FDA foi determinada em cada uma das classes de diâmetro de agregados após fracionamento úmido e também no solo não-fracionado. Para DMP e PMA os valores nas amostras de MN foram maiores que nas de CC. O solo sob MN apresentou maiores valores de FDA que os de CC em todas as classes de diâmetro dos agregados, bem como no solo não fracionado. Embora a perda de solo devido ao peneiramento úmido tenha sido muito similar entre os dois solos, este procedimento resultou em maiores perdas relativas de FDA em amostras derivadas de MN do que em CC. Isto sugere que diferentes reservatórios de enzimas que hidrolisam o diacetato de fluoresceína possam existir no solo, e que a importância relativa destes reservatórios para a atividade enzimática total é dependente do tipo de solo. Observou-se uma relação não-monotônica entre a hidrólise do diacetato de fluoresceína e o diâmetro dos agregados. Para ambos os solos, classes de agregados intermediárias (0,25 a 1,00 mm) apresentaram menores valores de FDA que as classes abaixo e acima desta faixa de diâmetros. Embora FDA e DMA tenham apresentado a mesma tendência de variação entre os dois tipos de solo, a atividade enzimática não foi diretamente relacionada ao diâmetro de agregados do solo.

Palavras-chave: diacetato de fluoresceína, classes de agregados e cana-de-açúcar.

SANT'ANNA, Selenobaldo Alexinaldo Cabral. Enzyme activity in soil aggregates from coastal tableland areas of Alagoas State. In: _____. **Soil quality indicators in sugarcane areas in Coastal Tablelands Alagoas State.** 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2007.

Abstract

Given the high mutual relationship between microbial aspects and soil aggregation, it is supposed that microbial variables may reflect changes in soil physical properties and, therefore, would be suitable as indicators of soil sustainability. The hypothesis of this work is that the microbial activity, measured as the rate of fluorescein diacetate hydrolysis, will increase with the increment of soil aggregate diameters. The observation of such relationship would allow the use of the fluorescein diacetate hydrolysis, which laboratorial execution is easy, quick, and inexpensive, as an indicator of the soil aggregation status. Therefore, the objective of this work was to analyze the distribution of enzyme activity (fluorescein diacetate hydrolisys) across different diameter classes of water stable aggregates in soil samples from coastal tableland areas. Five composite soil samples (0-10 cm) were taken from an unburned sugarcane filed (US) and from an adjacent native forest (NF). The weighed mean diameter of water stable soil aggregates (WSA), and the percent of macroaggregates (PMA) were determined after wet sieving of soil samples. The activity of FDA hydrolyzing enzymes was evaluated in each of the soil aggregate diameter classes after wet sieving, as well as in the whole soil. WSA and PMA were higher under NF than US. The soil under NF presented higher FDA values than US, in all the aggregate diameter classes as well as in the whole soil. Although the soil mass lost during the wet sieving was very similar between the two soils, this procedure resulted in higher relative FDA losses in NF than in US. That suggests that differen pools of fluorescein diacetate hydrolyzing enzymes may exist in the soil, and that the relative importance of these pools to the whole enzyme activity is dependent on the soil type. A non-monotonic relationship was observed between aggregate diameter and FDA. For both soils, intermediate aggregate size classes (0.25 to 1.00 mm) had lower FDA values than the classes bellow and above this diameter range. Although FDA and WSA had presented similar pattern of change between the soil types, enzyme activity was not directly related with soil aggregate diameters.

Key Words: fluorescein diacetate, aggregate classes and sugarcane

2.1 – Introdução

Entre os atributos do solo que se destacam no monitoramento de sua qualidade está a estrutura do solo, a qual compreende um conjunto de agregados de diversos diâmetros constituídos a partir da ação dos fatores físicos, químicos e biológicos atuantes no ambiente.

A formação e estabilização dos agregados dependem de fatores abióticos relacionados à presença de cátions e fatores bióticos ou agentes orgânicos envolvidos na agregação. Os fatores de agregação do solo são classificados quanto a sua resistência à ação microbiana em: persistentes, transicionais e temporários. Os persistentes são os materiais orgânicos humificados, principalmente associados aos óxidos de Fe e Al de baixa cristalinidade, que estão envolvidos na formação de microagregados do solo. Os transicionais são polissacarídeos rapidamente decompostos pelos microrganismos e associados aos macroagregados do solo e os agentes temporários são as hifas de fungos e raízes, que permanecem no solo por semanas, meses ou até anos, e estão envolvidos na formação e estabilização dos macroagregados (TISDALL; OADES, 1982).

Diferentes práticas de manejo como a adubação, adição de resíduos orgânicos, queimas de restos vegetais e preparos do solo têm grandes impactos no conteúdo de matéria orgânica, na composição da solução do solo, e na microbiota do solo, sendo, por isso, determinantes para a agregação do solo.

Os efeitos dos diferentes sistemas de manejos sobre as mudanças de estabilidade e a distribuição de tamanho de agregado têm sido verificados e analisados para os diversos agroecossistemas do Brasil. No entanto, as informações sobre as propriedades biológicas em agregados do solo ainda são pouco freqüentes, especialmente nos solos de tabuleiros costeiros.

A distribuição da biomassa microbiana, a atividade enzimática e o C mineralizável, em macro e microagregados do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado brasileiro foram verificados por Mendes e outros (2003), que encontraram padrões diversificados entre os parâmetros analisados e os sistemas de manejos em função da distribuição das classes de agregados.

Nas investigações realizadas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas têm-se observado reduções nos teores da matéria

orgânica e, conseqüentemente, na diminuição da estabilidade dos agregados e no aumento relativo de microagregados do solo (SILVA; CABEDA; CARVALHO, 2006; SILVA et al., 2007). No entanto, nestes estudos não foram investigadas as relações entre a microbiota do solo e o processo de agregação em função das práticas de manejo e dos fatores ambientais.

A destruição de agregados do solo por práticas de manejo indevidas resulta em alteração de aspectos físico-químicos do solo essenciais para a atividade biológica, como aeração, umidade, e disponibilidade de nutrientes (GUPTA; GERMIDA, 1988; FRANZLUEBBERS; ARSHAD, 1997; LUPWAYI et al., 2001; BRONICK; LAL, 2005). Por sua vez, a microbiota do solo apresenta grande potencial de afetar o estado de agregação do solo, quer pela produção de substâncias cimentantes, como polissacarídeos (TISDALL; OADES, 1982) e glomalina (RILLIG et al., 2003), quer pela ação física de enovelamento de partículas de solo pelas hifas de fungos (TISDALL; OADES, 1982; DEGENS, 1997). Dada esta interdependência entre aspectos microbianos e a agregação do solo, espera-se que variáveis microbianas possam refletir alterações nas propriedades físicas do solo e sejam adequadas como indicadores de sustentabilidade do solo.

A hidrólise do diacetato de fluoresceína tem se mostrado capaz de discriminar solos sob diferentes sistemas de manejo e, por isso, proposta como um indicador biológico da qualidade do solo (GODOI, 2001; LANNA, 2002; SILVA; SIQUEIRA; COSTA, 2004; CARVALHO, 2005). Esta análise representa a atividade microbiana do solo por meio da mensuração da taxa de catálise do diacetato de fluoresceína por enzimas do solo, como as esterases, proteases e lipases (SCHNÜRER; ROSSWALL, 1982; ADAM; DUNCAN, 2001).

Trabalhos anteriores têm mostrado que as populações microbianas do solo e as suas atividades estão heterogeneamente distribuídas em classes de tamanho de agregados (GUPTA; GERMIDA, 1988; MILLER; DICK, 1995a MILLER; DICK, 1995b; FRANZLEUBBERS; ARSHAD, 1997; MENDES et al., 1999).

A hipótese do presente trabalho é de que a atividade microbiana, medida como a hidrólise do diacetato de fluoresceína, aumentará monotonicamente com o incremento do diâmetro dos agregados do solo. A observação desta associação poderá permitir o uso da hidrólise de diacetato de fluoresceína, cuja execução laboratorial é fácil, rápida e de baixo custo, como indicador do estado de agregação do solo. Deste modo, este

trabalho teve como objetivo analisar a distribuição da atividade enzimática medida pela hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) em diferentes classes de agregados estáveis em água em amostras de solos.

2.2 – Material e Métodos

2.2.1 – Localização e características da área estudada

Amostras de solo foram coletadas 0-10 cm de profundidade em talhões de 120 x 67 m submetidos ao sistema de colheita de cana-de-açúcar sem queima CC (cana crua) e de uma área sob mata nativa adjacente (MN), utilizada como referência da condição de solo não-manejado. As áreas amostradas localizam-se em um Argissolo Amarelo (Tabela 1), na Usina Triunfo Agroindustrial, Município de Boca da Mata entre os paralelos 9° 40' 47" e 9° 42' 30" S e os meridianos 36° 08' 12" e 36° 05' 03" W na região centro oeste de Alagoas (Figura 1).

Figura 1. Faixa dos tabuleiros costeiros na região Nordeste do Brasil com destaque para o Estado de Alagoas, adaptado de Silva e outros (1993).

As amostras foram transportadas sob refrigeração para o laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Tabuleiros Costeiros (Aracaju, SE) onde foram processadas. As análises microbiológicas foram realizadas em amostras de solo na umidade de campo.

2.1.2 – Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e percentagem de macroagregados (PMA)

O diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) e a percentagem de macroagregados (PMA) foram determinados a partir das massas de solo retidas em peneiras com malhas de 2,0, 1,0, 0,5 0,25 e 0,040 mm de abertura, após peneiramento úmido em um aparelho de oscilação vertical de acordo com Yoder (1936). O equipamento foi ajustado para realizar 42 ciclos por minuto, com altura de oscilação das peneiras de 4 cm, por um período de 5 min. Previamente à análise, as amostras de solo foram reumedecidas por capilaridade. Ao final do peneiramento uma porção do conteúdo de solo retido em cada uma das peneiras foi retirada para análise da atividade enzimática e o restante foi secado em estufa a 105ºC, durante 24 horas, e obtida a umidade residual em cada classe de agregado. O DMP foi calculado pela seguinte equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^{n} (Xi \times Wi),$$

em que Wi é a proporção de cada classe em relação ao total, Xi o diâmetro médio das classes de agregados (mm) e n = número de classes de agregados.

Também foi estimada a percentagem da massa de solo recuperada nas peneiras com diâmetro superior a 40 μm ($\%MS_{rec}$) durante o processo de peneiramento úmido, pela equação:

$$\%MS_{rec} = 100 \times \frac{\sum Ms_f}{Ms_i},$$

onde Ms_f representa massa de solo retida em cada uma das peneiras com diâmetros de malha entre 40 μm e 2 mm, e Ms_i representa a massa de solo (< 2mm) inicial utilizada nesta análise.

2.2.3 – Atividade enzimática microbiana

A atividade enzimática microbiana foi determinada pelo método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) descrito por Schnürer e Rosswall (1982), e adaptado por Costa (1995). Para tanto, amostras de 1 g de solo retidas em cada uma das peneiras durante a determinação do DMA foram incubadas em tampão fosfato de sódio (pH 7,5). Em seguida foi adicionada uma alíquota de 0,30 mL da solução estoque de FDA (0,48

mmol L^{-1}) e a suspensão de solo agitada por 1 hora a 120 rpm em mesa agitadora. Após este tempo, uma alíquota de 2 mL da suspensão de solo foi tomada e misturada a um volume idêntico de acetona para paralisar a reação. Esta mistura foi centrifugada e em seguida realizada a leitura da absorvância do sobrenadante no comprimento de onda de 490 nm em espectrofotômetro.

Os dados da absorvância foram convertidos em quantidades de produto formado (fluoresceína) utilizando-se uma curva padrão estabelecida a partir de quantidades conhecidas de fluoresceína em tampão fosfato de sódio. Os dados foram expressos em μg de fluoresceína g^{-1}. solo. h^{-1}.

Para avaliar a porcentagem de recuperação da atividade enzimática nas frações de solo após o peneiramento úmido ($\%FDA$) utilizou-se a equação:

$$\% FDA_{rec} = 100 \times \frac{\sum FDA_f}{FDA_{nf}}$$

onde FDA_f representa a atividade de FDA em cada uma das frações de solo retidas nas peneiras com diâmetros de malha entre 40 μm e 2 mm, e FDA_{nf} representa a atividade de FDA no solo não fracionado por via úmida, que incluiu todas as partículas de solo menores que 2 mm.

2.2.4 – Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa S-Plus (versão 4.0) e as médias dos tratamentos comparadas pelo Teste de Tukey. A significância para ambas as análises foi estabelecida a 5% de probabilidade.

2.3 – Resultados

Apesar da proximidade entre as áreas de mata nativa MN e de cultivo de cana crua CC estas apresentam diferenças com relação à textura do solo. As áreas de MN apresentam maiores teores de argila que as áreas de CC, o que pode ter contribuído, ainda que parcialmente, para as diferenças observadas nas análises realizadas (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades e classificação dos solos dos sítios amostrados. UFS, São Cristóvão-SE, 2007

Sítio	Argila ($kg\ kg^{-1}$)	Textura	Consistência†			Classe de solo
			Resistência a ruptura (seco)	Pegajosidade	Plasticidade	
CC	78	Franco arenosa	Levemente duro	Não pegajoso	Não plástico	Argissolo Amarelo
MN	226	Franco argilo arenosa	Moderadamente duro	Levemente pegajoso	Levemente plástico	Argissolo Amarelo

†National Soil Survey Center, NRCS, USDA (SCHOENEBERGER et al., 2002).

Os valores de DMP (Figura 1) e de FDA nas amostras não fracionadas (Figura 2) foram maiores no solo sob MN que no de CC. Estes resultados estão em conformidade com os observados em amostras coletadas destes sítios em datas anteriores por SANT'ANNA e outros (2007).

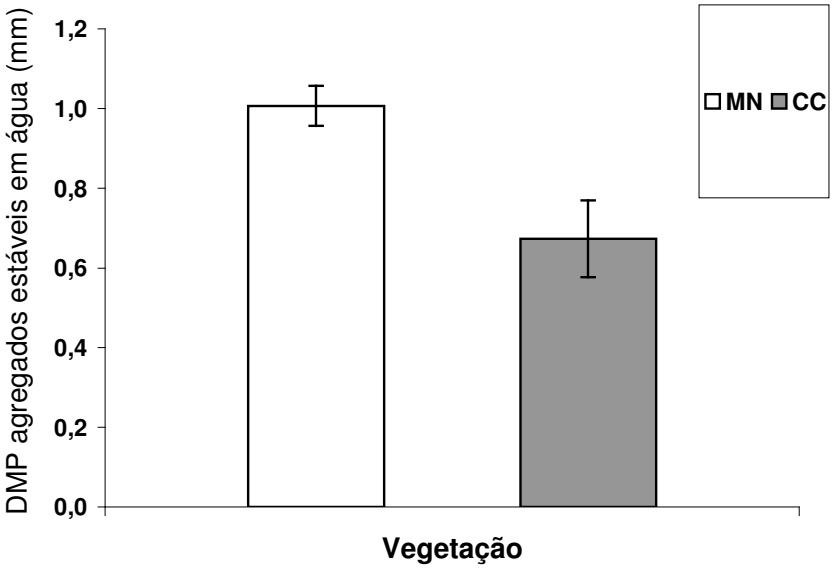

Figura 2. Médias (± 1 EP) do diâmetro médio de ponderado dos agregados de solo estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

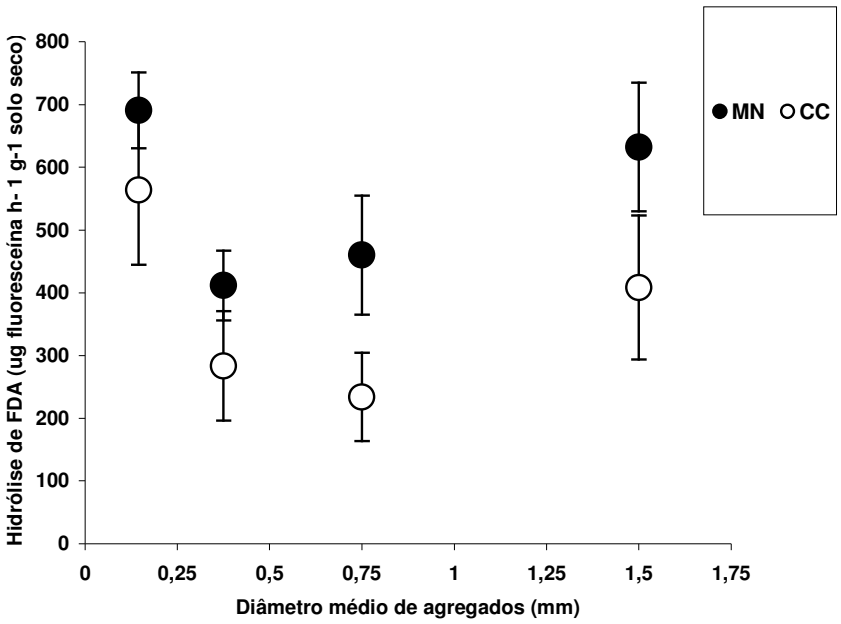

Figura 3. Médias (± 1 EP) da distribuição da atividade de hidrólise de FDA em diferentes classes de agregados de solo estáveis em água em amostras coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

O processo de peneiramento para determinação do DMP resultou em uma % Ms_{rec} de cerca de 89 e 92 % para CC e MN (Figura 3). Estes valores não diferiram entre si a 5 % de probabilidade.

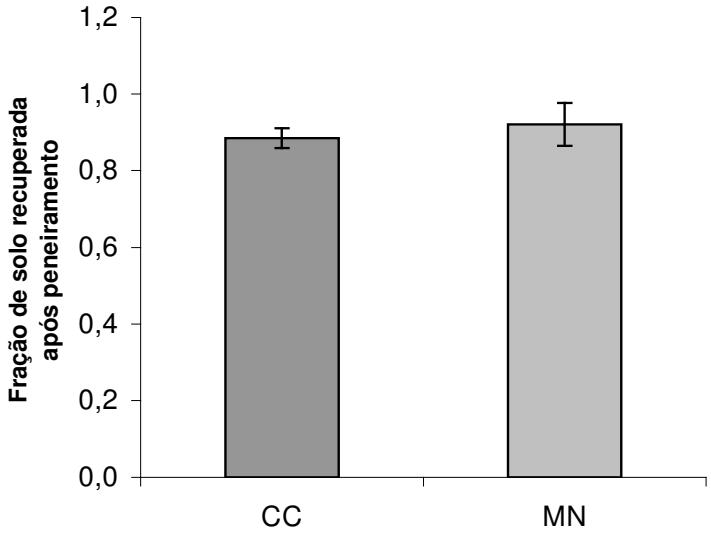

Figura 4. Médias (± 1 EP) da recuperação do solo após peneiramento por via úmida em amostras de solo coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

No entanto, observou-se que a % FDA_{rec} foi dependente do solo analisado (P<0,01), já que os valores para esta variável foram de 37 % para as amostras sob MN, e de 58 % para CC (Figura 4).

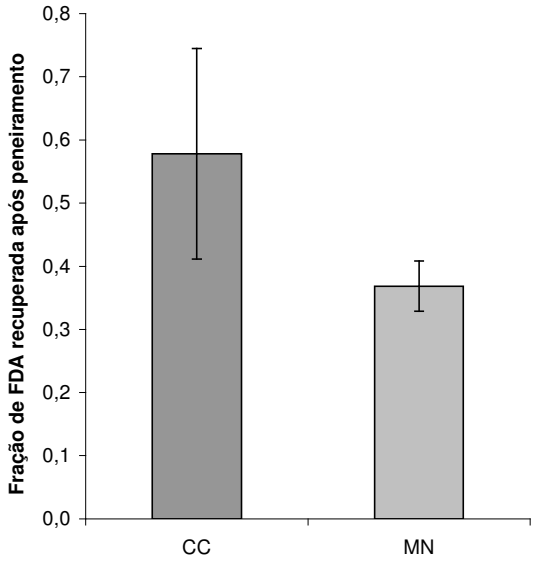

Figura 5. Médias (± 1 EP) da recuperação da hidrólise de FDA após o peneiramento do solo por via úmida em amostras de solo coletadas de sítios sob cultivo de cana-crua (CC) e sob mata nativa (MN). UFS, São Cristóvão-SE, 2007.

Com relação a FDA analisada nas diferentes classes de agregados, observou-se um forte efeito do sítio amostrado (P<0,001) e do diâmetro dos agregados (P<0,001). Porém, a interação entre estes dois fatores não foi significativa (P = 0,42), indicando que ambos os solos apresentaram um padrão similar de variação na FDA entre as diferentes classes de diâmetros de agregados (Figura 2).

Embora as classes de tamanho de agregados diferiram entre si quanto a FDA, não se observou uma relação monotônica entre estas duas variáveis. Para ambos os solos, classes de agregados intermediárias (0,25 a 1,00 mm) apresentaram menores valores de FDA que as classes abaixo e acima desta faixa de diâmetros.

2.4 – Discussão

A agregação do solo é um processo mediado por fatores físicos, químicos e biológicos relacionados à aproximação das partículas e a sua estabilização por agentes cimentantes. Estes fatores são dependentes das condições mineralógicas, do conteúdo,

qualidade e dinâmica da matéria orgânica, da atividade e diversidade microbiana além dos fatores inerentes ao manejo do solo.

Dessa forma, a concentração de agregados de maior tamanho nas áreas de MN pode ser explicada pelas características particulares desse ambiente na região que apesar da proximidade com as áreas cultivadas com CC diferem na maior concentração de argila e no maior acúmulo de matéria orgânica. A associação entre estes compostos coloidais e cátions cimentantes é essencial à formação e à estabilidade dos agregados do solo (DUFRANC et al., 2004).

Comumente regiões de mata apresentam índices gerais de agregação mais elevados quando comparados com áreas cultivadas (SILVA; MIELNICZUK, 1997; BLAIR, 2000; WENDLING at al., 2005; SILVA; CABEDA; CARVALHO, 2006; GREEN et al., 2007). A presença de um fluxo constante de matéria orgânica e de condições favoráveis à atividade biológica provavelmente exerceram papel efetivo nas diferenças observadas entre as classes de agregados das áreas de MN e CC.

As diferenças observadas entre MN e CC em relação à hidrólise de FDA estão de acordo com dados obtidos nos mesmos sítios por Sant'Anna e outros (2007) e para regiões de mata e outros agroecossistemas estudados por Godoi (2001) e Silva; Siqueira e Costa (2004).

Diferenças em propriedades físicas de importância para a atividade microbiana, como temperatura e umidade do solo, além dos fatores inerentes ao manejo, possivelmente contribuíram para as diferenças observadas entre CC e MN.

Embora a fração de massa de solo recuperada após fracionamento úmido (% Ms_{rec}) das amostras tenha sido similar entre os dois solos, este procedimento resultou em uma perda relativa muito maior em atividade de hidrólise de FDA (% FDA_{rec}) em MN que em CC. Isto evidenciou a existência de uma compartimentalização diferenciada dos reservatórios de enzimas catalisadoras da hidrólise do FDA entre CC e MN. Ou seja, uma fração relativamente maior da atividade enzimática do solo de MN estava em solução ou associada a partículas de solo menores que 40 μm, sendo o inverso verdadeiro para CC. Dados os maiores teores de argila e matéria orgânica no solo sob MN, e considerando-se a importância destes colóides na estabilização de enzimas do solo, é possível que grande parte da atividade enzimática nestes solos seja oriunda de enzimas produzidas ao longo de um determinado período de tempo e que se mantiveram

protegidas da degradação microbiana pela complexação com estas frações coloidais. Ao contrário, solos sob CC apresentariam uma fração relativamente maior de enzimas ligadas a frações orgânicas particuladas, de maior diâmetro. Neste caso, é possível que uma expressiva quantidade das enzimas sejam de origem mais recente, sendo que a principal fonte destas seria a síntese microbiana induzida pelo aporte de resíduos vegetais e animais depositados ao solo mais recentemente.

A distribuição da atividade enzimática nas classes de agregados pode variar conforme as condições edafoclimáticas da região, a qualidade e quantidade da MOS, o sistema de cultivo e manejo adotados, além da dinâmica da biomassa microbiana e das características cinéticas das enzimas avaliadas. Dessa forma, é possível encontrar a atividade enzimática variando em quantidade desde microagregados até macroagregados.

Com relação à FDA analisada nas diferentes classes de agregados, houve forte efeito do sítio amostrado ($P < 0,001$) coincidente com o observado para os solo não fracionados e do diâmetro dos agregados ($P < 0,001$). Ambos os solos apresentaram um padrão similar de variação na FDA entre as diferentes classes de diâmetros de agregados ($P = 0,42$). Esta similaridade entre os solos sob diferentes usos está em desacordo com Mendes e outros (2003), que observaram que o modo de preparo de solo alterou a distribuição da atividade de enzimas entre diferentes classes de diâmetro de agregados.

A relação não-linear (não-monotônica), com extremos de classes de diâmetros de agregados apresentando maior hidrólise de FDA que classes intermediárias oferece suporte à hipótese de dois compartimentos principais de atividade enzimática: material humificado com diâmetros reduzidos com maior capacidade de estabilização de enzimas devido à maior superfície específica e matéria orgânica particulada, principal estímulo à atividade microbiana, por sua alta labilidade.

Variações na distribuição da atividade enzimática entre as classes de agregados foram encontradas em áreas de rotação de culturas em região de clima temperado onde 60-70% da atividade estavam relacionadas com macroagregados e que foram atribuídas ao aumento da proteção das enzimas nos macroagregados (MILLER; DICK, 1995b).

No entanto, estes autores encontraram para as enzimas β-glucosidase e L-asparaginase uma tendência de aumento da atividade relacionada com os

microagregados e explicam que este fato é devido a maior atividade originada de hifas fúngicas que predominam na microagregação (MILLER; DICK, 1995b).

Diferentemente do observado neste trabalho Mendes e outros (2003) encontraram na região do Cerrado brasileiro em sistemas de manejo com plantio convencional e direto influenciando a distribuição da atividade enzimática nas classes de agregados. A atividade das enzimas β-glucosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase foram maior em macroagregados do plantio direto, e no plantio convencional apenas β-glucosidase apresentou distribuição diferenciada entre macro e microagregados (MENDES et al., 2003).

Efeitos maiores sobre a estrutura do solo e principalmente na estabilidade dos agregados são observados entre os sistemas colheita de cana com e sem queima da palha na região dos tabuleiros costeiros de Alagoas. Estudos que avaliem os efeitos das propriedades biológicas dos agregados dessas formas de manejos e em perfis diferentes dos solos são também necessários.

2.5 – Conclusões

- Áreas sob cultivo apresentam menores valores da estabilidade de agregados em água quando comparada com áreas sob mata nativa,
- A atividade enzimática mostra-se mais elevada em sítios sob mata que em sítios sob cultivo e esta relação independe da classe de diâmetro de agregados analisada,
- Hipotetiza-se a existência de diferentes reservatórios das enzimas que hidrolisam o diacetato de fluoresceína nos solos analisados,
- Observa-se uma relação não-monotônica entre a hidrólise do diacetato de fluoresceína e o diâmetro dos agregados.

2.6 – Referências Bibliográficas

ADAM, G.; DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology and Biochemistry,** Oxford, v. 33, p. 943-951, 2001.

BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 55, p. 183-191, 2000.

BRONICK, C. J.; LAL R. Soil structure and management: a review. **Geoderma,** Amsterdan, v. 124, p. 3-22, 2005.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifólia* (Bert.) O. Ktze. no estado de São Paulo.** 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Piracicaba SP, 2005.

COSTA, J. L. S. **Inducing suppressiveness to Phytophthora root of avocado by using biochanced mulches.** 1995. 154 f. Tese (Doutorado)-University of California, Riverside, CA, 1995.

DEGENS, B. P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. **Australian Journal of Soil Research,** Victoria, v. 35, p. 431–460, 1997.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 505-517, maio/jun. 2004.

FRANZLUEBBERS, A. J.; ARSHAD, M. A. Soil microbial biomass and mineralizable carbon of water-stable aggregates. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 61, p. 1090-1097, 1997.

GODOI, L. C. L. **Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos.** 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; CRUZ, J.C.; CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 92, p. 114-121, 2007.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry,** Oxford, v. 20, p. 777-786, 1988.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição:** uma revisão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 144).

LUPWAYI, N.Z.; ARSHAD, M.A.; RICE, W.A.; CLAYTON, G.W. Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management. **Applied Soil Ecology,** Amsterdam 16:251-261. 2001.

MENDES, I. C.; BANDICK, A. K.; DICK, R. P.; BOTTOMLEY, P. J. Microbial biomass and activities in soil aggregates affected by winter cover crops. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 4, p. 873-881, 1999.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MILLER, M.; DICK, R. P. Dynamics of soil C and microbial biomass on whole soil aggregates in two cropping systems differing in C-input. **Applied Soil Ecology,** Amsterdan, v. 2, p. 253-261, 1995a.

MILLER, M.; DICK, R.P. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 1161-1666, 1995b.

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

SANT'ANNA, S. A. C.; MELO IVO, W. M. P.; COSTA, J. L. S.; FERNANDES, M. F. Indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**: anais. Porto Alegre: SBCS, 2007.

SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 43, p. 1256-1261, 1982.

SCHOENEBERGER, P. J.; WYSOCKI, D. A.; BENHAM, E. C.; BRODERSON, W. D. Field book for describing and sampling soils. **National Soil Survey Center**, Lincoln, 2002. v. 2. Natural Resources Conservation Service.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um argissolo amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; CARVALHO, F. G.; SILVA, V. N.; SILVA, L. S. F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 420-424, 2007.

SILVA, M.; SIQUEIRA, E. R.; COSTA, J. L. S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1493-1496, set./out. 2004.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates is soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p.141-163, 1982.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, Madison, n. 28, p. 337-357, 1936.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF: Embrapa, v. 40, p .487-494, 2005.

3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ecossistema dos tabuleiros costeiros apresenta uma enorme potencialidade dos recursos naturais devendo estes ser utilizados em bases sustentáveis, principalmente no que concernem as práticas agrícolas.

Na região dos tabuleiros do Estado de Alagoas o agroecossistema da cana-de-açúcar assume papel de destaque, e o manejo do solo adotado nesta região é um componente fundamental do sistema de produção e um valioso instrumento na busca de uma atividade agrícola sustentável.

A análise das variáveis indicadoras da qualidade do solo utilizada neste trabalho evidencia que na cultura da cana-de-açúcar as práticas conservacionistas de manejo solo apresentam uma tendência em se diferenciar da prática convencional de manejo de colheita da cana após a queima da palha.

Entre as variáveis empregadas a atividade enzimática medida pela hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) apresentou uma inconsistência de resposta entre as duas épocas avaliadas separando os manejos de cana apenas na estação chuvosa. Esta sensibilidade parcial torna o indicador com o uso limitado. No entanto, estudos abrangendo avaliações mais prolongadas são necessários para confirmação destes resultados.

A distribuição dos agregados estáveis em água (diâmetro médio dos agregados e a percentagem de macroagragados) apresentou independentemente da data avaliada uma maior capacidade de separar os manejos de cana, ou seja, demonstrando uma maior consistência dos resultados entre as duas datas de avaliação. Este resultado elege o indicador como uma das ferramentas possível de ser utilizada na avaliação da qualidade do solo dos agroecossistemas de cana-de-açúcar de Alagoas.

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, G.; DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology and Biochemistry,** Oxford, v. 33, p. 943-951, 2001.

ARAÚJO, A. S. F. A qualidade do solo. **Sapiência,** Teresina, a. 2, n. 4, jun. 2005.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 28, p. 337-345, 2004.

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia,** São Paulo, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004.

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP.** 2001. 204 f. Tese (Doutorado)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry,** Oxford, v. 31, n. 11, p. 1471-1479, 1999.

BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, V. S. B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p.1004-1008, 1993.

BASANTA, M. V. **Dinâmica do nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo de resíduos da colheita.** 2004. 82 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research,** Amsterdam, v. 55, p. 183-191, 2000.

BURNS, R. G.; DICK, R. **Enzymes in the environment**: activity, ecology and applications. New York: Marcel Dekker, 2002. 614 p.

CAMARGO, A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A. CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênesis, 1999. 49 p.

CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono.** 2003. 103 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A. et al. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifólia* (Bert.) O. Ktze. no estado de São Paulo.** 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Piracicaba SP, 2005.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade em agroecossistemas: avaliações integrando os conhecimentos acadêmicos e não acadêmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1.; SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE AGROECOLOGIA, 4.; SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE AGROECOLOGIA, 5., 2003, Porto Alegre. **Agroecologia**: conquistando a soberania alimentar: palestras. Pelotas: EMATER; Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 213-226.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental,** Campina Grande, v. 4, p. 23-28, 2000.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do tabuleiro costeiro. **Scientia Agrícola,** Piracicaba, v. 55, p. 367-378, 1998.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil: uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. **Boletim Informativo SBCS**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 77-80, 1997.

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L.; ANDRADE D. S. Microrganismos e processos biológicos no sistema de plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Lavras: Sociedade Brasileira Ciência do Solo UFL, 1999. p. 487-508.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados **Revista Brasileira Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 29. n. 5, p. 777-788, 2005.

CORRÊA, M. C. M.; CONSOLINI, F.; CENTURION J. F. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (Saccharum spp.). **Acta Scientiarum,** Maringá, v. 23, n. 5, p. 1159-1163, 2001.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. et al. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo,** Viçosa, MG, maio/jun. v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

COSTA, J.L.S. **Inducing suppressiveness to Phytophthora root of avocado by using biochanced mulches.** 1995. 154 f. Tese (Doutorado). University of California, Riverside, CA. 1995.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo**: método da fumigação-extração. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 37).

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdan,v. 15, p. 3-11, 2000.

DORAN, J. W. **Soil quality and sustainability.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** SBCS, 1997. p. 20–26.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 35, p. 3-22, 1994.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio

direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 505-517, maio/jun. 2004.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (Aracaju, SE). **Plano diretor do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (CPATC)**. Brasília: EMBRAPA- SPI, 1994. 37 p.

GASPAR, M. L.; CABELLO, M. N**.**; POLLERO, R. J.; AON, M. A. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of fungal biomass in soil. **Current Microbiology**, Ney York, v. 42, p. 339-344, 2001.

GODOI, L. C. L. **Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos.** 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

GOMES, J. C.; LEAL, E. C. **Cultivo da mandioca para a região dos tabuleiros costeiros**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de Produção**,** 11).

GHINI, R.; MENDES, M. D. L.; BETTIOL, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceina (FDA) como indicador da atividade microbiana do solo e supressividade a Rhizoctonia solani. **Summa Phytopathologica,** Jaboticabal, v.24, n.3, p.239-242, 1998.

HAYNES, J. L. **Uso agrícola dos tabuleiros costeiros do nordeste do Brasil**: um exame das pesquisas. 2. ed. Recife: SUDENE. 1970. 139 p.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, p. 69-78, 2000.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIAO TECNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros**: anais. 1996. p.13-26.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1., 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 19-46.

JACOMINE, P. K. T. **Fragipans em solos de "tabuleiros": Caracterização, gênese e implicações no uso agrícola.** 1974. 83 f. Tese (Livre Docência em Agronomia)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1974.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 5, p. 415-471, 1981.

KARLEN, D. L.; WOLLENHAUPT, N. C.; ERBACH, D. C. et al. Long-term tillage effects on soil quality **Soil & Tillage Research,** Amsterdan, v. 32, p. 313-327, 1994.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J. et al. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of American Journal,** Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição:** uma revisão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 144).

LIMA, A. A. A evolução da agroindústria canavieira alagoana da criação do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) ao processo de modernização da década de 1960. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HISTÓRIA ECONÔMICA, 5. 2003, Caxambu. **Anais...** Caxambu: ABPHE, 2003.

LIMA, M. A.; LIGO M. A. V.; CABRAL, O. M. R.; BOEIRA, R. C.; NEVES, M. C.; PESSOA, M. C. P. Y. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: relatórios de referência: emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente; Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002.

LIMA, J.; OLIVEIRA, E. B.; ALVARENGA, S. C.; BARBOSA, T. Análise econômica da mão-de-obra na cultura de cana-de-açúcar do Estado de Alagoas. **Revista Experientiae**, Viçosa, MG, v. 25, n. 4, p. 69-87, 1979.

LYNCH, J. M. **Biotecnologia do solo:** fatores agrobiológicos na produtividade agrícola. São Paulo: Manole, 1986. 209 p.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas: estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. **Cadernos de Ciências e Tecnologia,** Brasília, DF, v. 17, n. 1, p. 10-29, 2000.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JÚNIOR., G. B. Productivity of sugarcane cultivars in different soils and harvesting periods**. Scientia Agrícola,** Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas em Itajubá-MG. **Cerne,** Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA E.; ANJOS, L. H. C. et al. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 201-207, 2000.

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: uma síntese histórica. **Revista da Agronomia,** Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 11-22, 1999.

PEREIRA, S. V.; MARTINEZ, C. R.; PORTO, E. R. et al. Atividade microbiana em solo do semi-árido sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 8, p. 757-762, 2004.

PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; VAN LIER, Q. J. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental,** Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 49-54, 2001.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n. 2, p. 159-164, 1987.

RAZAFIMBELO, T.; BARTHÈS, B.; LARRÉ-LARROUY, M. C. et al. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey

Oxisol from southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment,** Amsterdam, v. 115, p. 285–289, 2006.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências e Ambiente,** Santa Maria, n. 27, jul./dez. 2003.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros:** limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p. (Série Estudos Agrícolas, 1).

SCHNÜRER, J; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 43, p. 1256-1261, 1982.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um argissolo amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de latossolo amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 21, n. 4, p. 525-533, 1997.

SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P. et al. **Zoneamento agroecológico do Nordeste:** diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 1993. 2 v.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira Ciência do Solo,** Viçosa, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, M.; SIQUEIRA, E. R.; COSTA, J. L. S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1493-1496, set./out. 2004.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo***:* perspectiva ambiental. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1994. 142 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 45).

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S. et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **PAB,** Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais.** 2004. 201 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. et al. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 393-399, 1999.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates is soils. **Journal of Soil Science,** Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, DF, v. 20, n. 3, p. 391-411, set./dez. 2003.

VENZKE FILHO, S. P. **Biomassa microbiana do solo sob sistema de plantio direto na região de Campos Gerais, Tibagi, PR.** 2003. 99 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.