

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS**

MOACIR PAULO DA SILVA ALCANTARA

**RELAÇÕES ENTRE PRÁTICAS CULTURAIS E ATIVIDADE
MICROBIANA NA RIZOSFERA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

RECIFE

2009

MOACIR PAULO DA SILVA ALCANTARA

**RELAÇÕES ENTRE PRÁTICAS CULTURAIS E ATIVIDADE
MICROBIANA NA RIZOSFERA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biologia de Fungos da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos.

Orientadora
Uided Maaze Tibúrcio Cavalcante

Co-orientadores
Romero Marinho Moura
Cláudia Elizabete Lima

RECIFE

2009

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

Alcantara, Moacir Paulo da Silva

Relações entre práticas culturais e atividade microbiana na rizosfera de cana-de-açúcar / Moacir Paulo da Silva Alcantara. – Recife, 2009.

70 f.: il.

Orientador: Uided Maaze Tibúrcio Cavalcante, Romero Marinho Moura, Claudia Elizabete Lima

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia de Fungos, 2009.

Inclui referências

- 1. Cana-de-açúcar 2. Micro-organismos fitopatogênicos I. Cavalcante, Uided Maaze Tibúrcio (orient.) II. Moura, Romero Marinho (coorient.) III. Lima, Claudia Elizabete (coorient.) IV. Título.**

Relações entre práticas culturais e atividade microbiana
na rizosfera de cana-de-açúcar

MOACIR PAULO DA SILVA ALCANTARA

Comissão Examinadora

Membros titulares

Prof. Dra. Uided Maaze Tiburcio Cavalcante (Orientadora)

Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo (UFPI)

Prof. Dr. Gladstone Alves da Silva

Membros suplentes

Prof. Dr. Everardo Valadares Sá Barreto Sampaio (DEN-UFPE)

Prof. Dra. Adriana Mayumi Yano Melo (UNIVASF)

Data de Aprovação: 19/02/2009

Dedico

A minha filha Rita e a sua
mãe Giovana Casé que
representam tudo para mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela possibilidade de estudar.

A minha família, meu pai, José Alex obrigado pela constante presença em todos os momentos mais importantes da minha vida; minha mãe Geni José, por ser a pessoa mais importante e especial para mim; minha irmã Taciana Carla, obrigado pelos conselhos e por ser a minha melhor amiga; meu irmão Ricardo Jorge meu grande amigo, obrigado pelos momentos de alegria! Minha sobrinha Tarsila, obrigado pelas brincadeiras e pelas aulas de biologia! Minha avó, Anunciada Caetano por ainda estar conosco e por ser um exemplo de mulher forte que conseguiu criar com muita dificuldade minha mãe e meus tios. Obrigado a todos vocês pela paciência e por terem acreditado em mim.

À minha prima querida Ana Clara e família, pelo carinho.

Ao meu querido afilhado, Rodrigo Pablo pela amizade.

À minha querida Giovana Casé pelo seu amor, carinho, compreensão, respeito, paciência e por ter me apoiado sempre nos bons e maus momentos da minha vida. Admiro você como ser humano e tenho certeza que não poderia escolher mãe melhor para Rita. Com você eu realmente aprendi que vale a pena lutar até o fim pelos meus objetivos. À família de Giovana e agregados, principalmente a Dona Carmelita, Juliana, Maristela, Lucena, Khyale, Heloísa e Sofia pelo apoio.

À professora Dra. Uided Cavalcanti por ter me orientado na preparação da dissertação. Obrigado pelo apoio, pela paciência, pela ajuda e pelos seus conselhos que sempre ajudaram a resolver os meus problemas. Obrigado por ter acreditado em mim!

Ao Dr. Claudia Elizabete Lima que me co-orientou para escrever essa dissertação. Obrigado pela sua amizade, atenção, paciência e alegria; continue sendo sempre essa pessoa de grande coração. Obrigado por não ter desistido de mim!

Ao professor Dr. Romero Marinho Moura que me co-orientou, pela sua ajuda, disponibilidade e amizade. Muito obrigado pelos seus conselhos e ensinamentos.

À professora Dra. Leonor Costa Maia, pelos conselhos e pela ajuda durante o período do mestrado.

Ao Dr. Bruno Tomio, pela ajuda na identificação dos fungos.

Ao funcionários da Usina Santa Tereza e da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina, pela ajuda nas coletas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos e ao CNPq, pelo apoio acadêmico e financeiro para a realização das pesquisas.

Aos meus amigos do Laboratório e do departamento: Adália, Angelo, Araeska, Camila, Cynthia, Danielle Karla, Elaine, Érika, Elivane, Katiúcia, Kelly, Inácio, Maryluce, Marilene, Priscila, Rafael, Vera e Viviane. E um agradecimento especial a Heloísa, Michelline, Nicácio, Nylber, Indra, João Ricardo, Renata, Thiago e Vilma pela ajuda que vocês me deram.

Aos meus amigos da graduação: André Ferraz, Avykanan, Bruno, Flávio Florêncio, Flávio Veras, Genésio, Juliana Gadelha, Janaína, Janine, João Henrique, Jonathas, Manuela, Márcia Pereira, Marina, Mário, Natália, Nara, Nise, Pabyton, Petrônio, Rachellen, Rafael, Rivaldo, Rodrigo Ferreira, Thaís Rodrigues, Tiago Daconti.

A minha turma do mestrado: Aline, Caroline, Clarissa, Flávio Veras, Glauciane, Hanilma, Lidiane Roberta, Luciana, Hélder, Paúl Gamboa, Patrícia, Theomara, Vívian e Wendell.

Aos meus amigos Alexandra, Ana Paula, Ana Carolina, Euclides, Eveline, Fabiana, Daniela Souza, Daniel Bryon, Diego Almeida, Gilda, Girlane, João Paulo, Juliana Lira, Kátia Leão, Ligia Paulino, Liginha, Lucia Paulino, Luciana Aiko, Luís Filipe, Pablo, Ricardo Barros.

A todas as pessoas que eu esqueci de mencionar.

RESUMO

A cana-de-açúcar, cultura importante no cenário agrícola brasileiro, apresenta no Nordeste baixa produtividade devida principalmente à infestação por nematóides. Nematicidas sistêmicos são utilizados no controle destes fitopatógenos e, com menor impacto ecológico, plantas antagônicas têm sido recomendadas para a rotação de culturas. Neste trabalho foi avaliada a influência de práticas culturais sobre a população de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), atividade microbiana no solo, crescimento e produtividade da cana-de-açúcar (SP79-1011). Dois experimentos foram conduzidos na Usina Santa Tereza (Goiana, PE) e Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da Universidade Federal rural de Pernambuco (UFRPE) (Carpina, PE) em blocos casualizados com quatro repetições e seis tratamentos: 1-plantio direto da cana-de-açúcar; 2-plantio de cana-de-açúcar dois anos após a aplicação do nematicida Carbofuran; 3-plantio da cana dois anos após a aplicação do nematicida Terbufós; 4-plantio de cana dois anos após pousio; 5-plantio de cana, dois anos após cultivo alternado e incorporação de crotalária (*Crotalaria juncea*) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), 6-igual ao tratamento 5 com inversão das espécies. Amostras de solo foram coletadas nas áreas experimentais e avaliadas. Maior número de glomerosporos (30 propágulos 50g solo^{-1}) ocorreu na rotação mucuna-preta/crotalária em relação aos nematicidas e pousio; maior produção de glomalina ($1,13\text{mg solo}^{-1}$) e elevado potencial infectivo de FMA ($130\text{ propágulos cm}^3\text{ solo}^{-1}$) ocorreram no tratamento 1 e 5, respectivamente. Em Carpina, maiores valores de glomerosporos ($130\text{ propágulos }50\text{g solo}^{-1}$) e número de propágulos ($240\text{ propágulos cm}^3\text{ solo}^{-1}$) foram observados na rotação mucuna-preta/crotalária. Entre os 24 táxons recuperados *Acaulospora* spp., *Glomus* spp. e *Scutellospora* spp. predominaram na rotação com crotalária-mucuna-preta, pousio e aplicação de Terbufós. A rotação e incorporação de crotalária/mucuna-preta promove a maior diversidade micorrízica. A rotação com mucuna-preta/crotalária favorece a atividade microbiana e a produtividade da cana-de-açúcar em relação ao pousio gerando aumentos de até 20%. Crotalária/mucuna-preta (Goiana) e mucuna-preta/crotalária (Carpina) contribuem para o aumento de propágulos infectivos de FMA no solo. Aplicação dos nematicidas Carbofurán e Terbufós há redução do número de propágulos de FMA e a atividade microbiana sem, contudo interferir na produção da glomalina. Conclui-se que a rotação de culturas estimula a atividade microbiana e a fertilidade do solo, porém as respostas diferem de acordo com a seqüência das culturas e com os parâmetros considerados.

Palavras-chave: Rotação de culturas. Cana-de-açúcar. Atividade microbiana.

ABSTRACT

The sugarcane, an important crop in the Brazilian agricultural scenario, presents in the Northeast low productivity due mainly to nematode infestation. Systemic nematicides are used to control those phytopathogens and, with less ecological impact, antagonistic plants have been recommended for crop rotation. This present work evaluates the cultural practices influence on the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), microbial activity in the soil and also sugarcane (SP79-1011) growth and productivity. Two experiments were conducted at Santa Tereza (Goiana, PE) and Sugarcane Experimental Station (Carpina, PE) of Pernambuco Rural Federal University (UFRPE) in randomized complete blocks with four replicates and six treatments: 1- sugarcane plantation with no-tillage; 2- sugarcane plantation two years after nematicide Carbofuran application; 3- sugarcane plantation two years after nematicide Terbufós application; 4- sugarcane plantation two years after fallow; 5- sugarcane planting, two years after alternating cultivation and incorporation of crotalaria (*Crotalaria juncea*) and velvet bean (*Stizolobium aterrimum*), 6- equal to treatment 5 with inversion of the species. Soil samples were collected in the experimental and evaluated areas. The highest number of glomerospores (30 propagules 50g soil⁻¹) occurred in the velvet bean / crotalaria rotation in relation to the nematicides and fallow; glomalin higher production (1.13 mg soil⁻¹) and FMA highest infective potential (130 soil⁻¹ cm³ propagules) occurred in treatment 1 and 5, respectively. At Carpina, glomerospores higher values (130 propagules 50g soil⁻¹) and propagules number (240 seedlings cm³ soil⁻¹) were observed in the velvet bean / crotalaria rotation. Among the 24 recovered taxa *Acaulospora* spp., *Glomus* spp. and *Scutellospora* spp. prevail in the rotation with crotalaria-velvet bean, fallow and Terbufós application. The crotalaria / velvet bean rotation and incorporation promotes a greater mycorrhizal diversity. Rotations with velvet bean/crotalaria increase the microbial activity and sugarcane productivity in relation to fallow yielding increases up to 20%. Crotalaria / velvet bean (Goiana) and velvet bean/crotalaria (Carpina) contribute to the increase of AMF infective propagules in the soil. Carbofuran and Terbufos nematicides application reduces the AMF propagules number and microbial activity as well, without, however, interfering with glomalin production. In conclusion, crop rotation stimulates microbial activity and soil fertility, but the answer differ according to the crop sequence and the parameters considered.

Key-words: Rotation crops. Sugarcane. Microbial activity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
2	REVISÃO LITERÁRIA	14
2.1	CANA-DE-AÇÚCAR.....	14
2.2	PRÁTICAS AGRÍCOLAS.....	17
2.2.1	Pesticidas	17
2.2.2	Rotação de Culturas	18
2.3	ATIVIDADE E BIOMASSA MICROBIANA.....	21
2.4	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA).....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	ÁREA DE ESTUDO E COLETA.....	26
3.2	COLETA DE SOLO.....	29
3.3	AVALIAÇÃO DOS FMA.....	29
3.3.1	Número e identificação de glomerosporos	29
3.3.2	Potencial de infectividade dos FMA no solo	30
3.3.3	Quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (psrgfe)	30
3.4	ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO.....	30
3.4.1	Avaliação da respiração do solo	31
3.4.2	Carbono da biomassa microbiana	31
3.4.3	Quociente respiratório (qCO₂)	31
3.4.4	Atividade enzimática do solo	31
3.5	AVALIAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	31
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO.....	33
4.2	STATUS MICORRÍZICO NA RIZOSFERA DA CANA-DE-AÇÚCAR..	34
4.2.1	Número de propágulos infectivos de (FMA)	34
4.2.2	Número de glomerosporos	36

4.2.3 Proteínas do solo relacionadas a glomalina facilmente extraível (PSRG FE).....	38
4.2.4 Diversidade de FMA.....	38
4.3 ESTUDOS DE CORRELAÇÃO.....	42
4.4 BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO.....	43
4.4.1 Respiração basal do solo.....	43
4.4.2 Carbono da biomassa microbiana (cbm).....	44
4.4.3 Quociente metabólico (qCO₂).....	45
4.4.4 Atividade da desidrogenase.....	46
4.4.5 Atividade da sacarase.....	47
4.5 ESTUDOS DE CORRELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO.....	48
4.6 DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR	49
5 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) é a quinta maior cultura do Brasil, principalmente para produção de açúcar e álcool combustível, constituindo uma das melhores opções como fonte de energia renovável no cenário agrícola brasileiro e futuro promissor no panorama mundial.

A prática de cultivo intensivo da cana-de-açúcar é responsável por alterações na comunidade microbiana e aumento da população de determinadas pragas e patógenos, a exemplo, os fitonematóides são responsáveis pelo declínio acentuado na produção (Barela & Christoffoleti 2006) e prejuízos mundiais superiores a 10 bilhões de dólares (Koenning et al. 1999). Para o controle de nematóides, a aplicação de nematicidas sistêmicos é uma prática amplamente utilizada na agricultura, porém o uso deste produto, além de aumentar os custos de produção, apresenta risco para o homem e o meio ambiente (Kloepper et al. 1991). Além do monocultivo e da aplicação de pesticidas e fertilizantes químicos, outras práticas agrícolas tais como, tráfego de máquinas agrícolas, manejo inadequado do cultivo e irrigação podem alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Bending et al. 2004).

Para preservar ou melhorar as características do solo é recomendada a prática rotação de culturas, que consiste na utilização de plantas que antecedem ou sucedem a cultura principal, que produzam grande quantidade de biomassa, fixem nitrogênio e não sejam hospedeiras de pragas e doenças, entre outras características. Nesse contexto, a utilização de plantas leguminosas como adubo verde, a exemplo da crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy) que fixam nitrogênio da atmosfera, liberam exsudatos com propriedades nematostáticas, aumentam o conteúdo de matéria orgânica do solo, entre outros benefícios, pode contribuir para a melhoria da qualidade e estrutura do solo (Ferraz & Valle 1997).

Além dos patógenos, a microbiota do solo é composta por microrganismos que participam da ciclagem de nutrientes e degradação da matéria orgânica. Entre os microrganismos benéficos do solo estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que formam associações com a maioria das espécies de plantas, contribuindo para a melhoria da absorção de nutrientes, tolerância a estresses bióticos e abióticos, entre outros benefícios.

O preparo do solo (aração e gradagem), práticas culturais como manejo, adubação, monocultivo extensivo e aplicação de agrotóxicos, podem reduzir a comunidade de FMA, devido à exposição dos propágulos fúngicos como, hifas, esporos e raízes colonizadas à temperatura elevada, excesso de oxigênio e ação de predadores. Estudos demonstram que o plantio direto contribui para aumentar a colonização micorrízica e que o sistema convencional favorece a esporulação desses fungos devido à maior estresse no ambiente solo (Venzke-Filho 1999).

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica e social para o Nordeste brasileiro. Porém, a infestação do solo por determinados microrganismos, como os fitonematóides, contribui para o declínio da produção da cana-de-açúcar (Moura, 2005) e a aplicação de nematicidas sistêmicos, prática importante no controle desses fitopatógenos, apresenta riscos para o meio ambiente. Dentre as alternativas de manejo para as fitonematoses, o biocontrole utilizando a microbiota da rizosfera de plantas também tem surgido como estratégia promissora de controle dos danos econômicos e agrônômicos. Estudos demonstram que práticas conservacionistas contribuem para aumentar a colonização micorrízica enquanto o sistema convencional favorece a esporulação desses fungos devido ao estresse decorrente no ambiente solo (Venzke-Filho 1999).

A rotação de culturas é uma das práticas indicadas para preservar ou melhorar as características do solo sendo recomendadas plantas que, entre outras características, produzam grande quantidade de biomassa, que se associem a bactérias fixadoras de nitrogênio e sejam tolerantes a pragas e doenças. Entre essas plantas destacam-se a crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e a mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy) que além dessas características liberam exsudatos com propriedades nematostáticas e podem contribuir para o aumento do conteúdo da matéria orgânica e melhoria da qualidade e estrutura do solo (Ferraz & Valle 1997), entre outros benefícios.

Considerando que a infestação do solo por determinados microrganismos, como os fitonematóides, contribui para o declínio da produção da cana-de-açúcar e que a aplicação de nematicidas sistêmicos, prática importante no

controle desses fitopatógenos, apresenta riscos para o meio ambiente foi testada a hipótese de que a rotação de cultura com crotalária e mucuna-preta, em relação ao pousio, a aplicação de nematicidas e ao plantio de cana, contribui para o aumento da população e atividade microbiana do solo, incrementando a produtividade da cana-de-açúcar

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência de práticas culturais sobre as atividades bioquímica e microbiana do solo e produção da cana-de-açúcar na Zona da Mata de Pernambuco.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a fertilidade dos solos dos tratamentos estudados;
- Verificar a influência, após dois anos, dos tratamentos (plantio direto, aplicação de nematicidas sistêmicos, pousio e rotação de cultura) na atividade microbiana em canaviais de solos arenosos e argilosos
- Determinar a população e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nos solos estudados;
- Avaliar a influência das práticas culturais empregadas no crescimento e produtividade da cana-de-açúcar.

2. REVISÃO LITERÁRIA

2.1 Cana-de-açúcar

De origem asiática, a cana-de-açúcar foi trazida para o Brasil pelos portugueses na primeira década do século XVI, onde se desenvolveu com sucesso no nordeste brasileiro. Entre os séculos XVI e XVII, o Brasil tornou-se o principal produtor e exportador de açúcar, estabelecendo ciclos de importância econômica e social, haja vista tratar-se de uma fonte de energia renovável e gerar divisas para o País (Lucas & Schuler 2007).

A substituição de florestas por culturas agrícolas causa erosão e perda da fertilidade dos solos, do patrimônio genético e da biodiversidade, dos recursos naturais não renováveis, entre outras agressões ambientais (Oliveira et al. 2005). Sendo assim, o monocultivo da cana-de-açúcar, de forma intensiva, é exemplo de perda de qualidade do

solo e de alterações na comunidade microbiana. Como resultado dessas alterações pode ocorrer infestação do terreno por determinadas pragas e doenças, a exemplo dos fitonematóides, que são responsáveis pelo declínio acentuado da produção da cana (Barela & Christoffoleti 2006; Barros et al. 2002). A população de nematóides recebe influência direta do tipo de cultivo adotado, em estudo realizado por Sereia et al. (2007) observaram que os sistemas onde houve maior diversificação de culturas a população desses parasitas foi similar ao que ocorre em ambiente de mata preservada. Entre e os nematóides, os do gênero *Meloidogyne* spp. causam danos a várias plantas, em sistemas de monocultivo, com prejuízos mundiais superiores a 10 bilhões de dólares (Koenning et al. 1999).

A necessidade de se obter combustíveis renováveis que substituam os de origem fóssil tem aumentado e, neste aspecto, a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, vem ganhando cada vez mais força no Brasil, devido às facilidades de cultivo, obtenção de matéria prima e processo de produção. Além disso, o etanol é bem menos poluente em comparação aos combustíveis derivados do petróleo, como o diesel e a gasolina.

Desse modo a produção de álcool de cana-de-açúcar tem sido incentivada, tendo o governo brasileiro criado em 1975 o Proálcool, Programa Nacional do Álcool, considerado o maior programa comercial, com sucesso mundial, devido a utilização de biomassa para produção de energia, visando a substituição no setor automotivo, de derivados de petróleo (Sindaúcar 2007). Esse mercado vem crescendo a cada ano com a ampliação da capacidade de produção do desse biocombustível.

No plano da produção, o setor sucroalcooleiro representa 1,2% do PIB nacional, sendo responsável por faturamento anual de US\$ 8,7 bilhões, gerando um milhão de empregos diretos (Pontes et al. 2005). Com esses números, o Brasil se situa como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido da Índia e Austrália. Em média, a cana moída gera internamente 55% de álcool e 45% de açúcar (Portal Única 2007).

A cana-de-açúcar é cultivada no Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Sul, com concentração de produção nas Regiões Centro-Sul e Nordeste, o que possibilita dois períodos de safra, de abril a novembro e de setembro a abril (Portal Única 2007).

Em 2005, a Zona da Mata respondeu por 70% da produção e área colhida no estado de Pernambuco, sendo os maiores produtores os municípios de Cabo Santo Agostinho e

Ipojuca com 6%; Itambé e Goiana com 5%; Timbaúba, Moreno, Aliança e Sirinhaém com 4% cada um (Cuenca & Mandarino 2007).

Na safra 2007/2008, Pernambuco moeu 19.822.187 t, produziu 1.683.453 t de açúcar e 511.576 m³ de etanol. A previsão é que a safra 2008/2009 seja de 20,8 milhões de toneladas de cana, sendo 1,7 milhões de toneladas de açúcar e cerca de 560 mil m³ de etanol (Sindaçúcar 2007). Estima-se que em 2008, a produção de etanol e de açúcar seja superior a 49,22% e 22,96%, respectivamente, e que a safra total de cana do Norte/Nordeste fique em aproximadamente 65 milhões de toneladas (Sindaçúcar 2007).

O cultivo da cana-de-açúcar compreende duas fases: a primeira conhecida como fase de implantação, com a preparação do solo e instalação da cultura, onde são feitos os maiores investimentos e representa o início de um ciclo de cinco anos. A fase de maior produtividade, com duração de quatro anos, é a fase de manutenção, onde o produtor se preocupa apenas com os tratamentos fitossanitários e colheita, estendendo-se até o momento de renovação da cultura (Maia & Oliveira 1999).

A cultura da cana-de-açúcar apresenta duas fases de crescimento interdependentes: a primeira, fase de estabelecimento, envolve a brotação das gemas, crescimento das raízes *shoots* (raízes secundárias grossas que se desenvolvem no sistema principal da planta) e das raízes *setts* (raízes finas com muitas ramificações que sustentam a planta em crescimento depois da brotação) e a segunda envolve o perfilhamento e início do crescimento dos *shoots* secundários, denominados de perfilhos (Pankhurst et al. 2005).

A produtividade da cana-de-açúcar (número de perfilhos, altura e peso dos colmos) pode ser aumentada com a utilização de sistemas de rotação de culturas com plantio de leguminosas (Alleoni & Beauclair 1995). Em sistemas agrícolas, a prática de plantio direto favorece a estabilidade dos agregados do solo, conservando o teor de matéria orgânica, uma vez que esses agregados podem constituir micro-habitats, nos quais os microrganismos encontram proteção e sustento para o seu desenvolvimento (Mendes et al. 2003). Por outro lado, práticas agrícolas como o monocultivo, utilização de pesticidas e fertilizantes químicos, utilização de maquinaria agrícola, manejo inadequado do cultivo e irrigação, entre outras, podem alterar significativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas comprometendo a qualidade do solo (Valarini et al. 2003).

2.2 PRÁTICAS AGRÍCOLAS

2.2.1 Pesticidas

Entre os fatores que limitam a produtividade da cana-de-açúcar estão os nematóides, e entre estes os mais importantes são *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zae* (Rossi & Lima 2007). Embora, *P. zae* seja o mais comum, *Meloidogyne incognita* causa danos mais severos, que variam em função do nível populacional, do tipo de solo e da variedade cultivada. Estima-se que *M. javanica* e *P. zae* sejam responsáveis pelo declínio de 20 a 30% da produtividade da cana (Dinardo-Miranda & Garcia 2002).

As plantas atacadas por nematóides são menos produtivas e exibem na parte aérea, sintomas representados por reboleiras, que consiste de plantas menores e cloróticas, apresentando murcha nas horas mais quentes do dia (Dinardo-Miranda & Garcia 2002). Os sintomas da parte aérea refletem o parasitismo dos nematóides nas raízes, de onde esses extraem nutrientes e injetam toxinas, resultando em deformações denominadas galhas, decorrentes do parasitismo por *Meloidogyne* e extensas áreas necrosadas no caso de parasitismo por *Pratylenchus*. Consequentemente, as raízes se tornam pouco desenvolvidas, pobres em radículas, deficientes e impossibilitadas de desempenhar normalmente suas funções (Dinardo-Miranda & Garcia 2002), comprometendo o desenvolvimento, a produção e futuros cultivos nas áreas de ocorrência (Chaves et al. 2003).

A aplicação de nematicidas sistêmicos é uma das alternativas utilizadas para controle desses parasitas, porém o seu uso além de aumentar os custos da produção apresenta risco para o homem e o meio ambiente (Kloepper et al. 1991). A aplicação de nematicidas controla os fitonematóides apenas nos primeiros meses, a exemplo do *Pratylenchus brachyurus*, cuja população foi restabelecida, no solo no quarto mês, e nas raízes a partir do oitavo mês, após o plantio da cana-de-açúcar (Oliveira et al. 2005).

Para aplicação dos nematicidas no solo é importante considerar: a época correta, a capacidade de absorção da planta e a solubilidade do produto. No caso do Carbofurán a aplicação é realizada na época seca, no período entre 40 e 60 dias e na chuvosa, entre 20 e 60 dias após o corte da cana. Esse produto, em solos úmidos, é rapidamente absorvido pela planta mesmo sendo pouco solúvel tendo em vista que as raízes novas e superficiais absorvem imediatamente o nematicida minimizando a chance de perda por lixiviação (Dinardo-Miranda et al. 2008).

Quando os nematicidas Terbufós e Carbofuran foram usados associados a herbicidas, para controle de fitonematóides, em áreas de cultivo da cana-de-açúcar, Dinardo-Miranda et al. (2006) constataram que Terbufós foi o mais eficiente em suprimir a população de nematóides, pelo menos até o quinto mês após a aplicação. Os autores também observaram que a associação nematicida/herbicida pode resultar em índices elevados de fitotoxicidade e redução do número de perfilhos.

Tendo em vista os problemas expostos, pesquisas relacionadas ao biocontrole de nematóides vêm sendo desenvolvidas utilizando plantas antagônicas (Rich & Rahi 1995) e fungos (Liu et al. 2008). Nesse contexto, Gargantini et al. (1958) já indicava a viabilidade da utilização de adubação verde na lavoura açucareira no período compreendido entre a retirada das soqueiras e o novo plantio da cana.

2.2.2 Rotação de Culturas

Em sistemas agrícolas, os fertilizantes químicos são amplamente utilizados para favorecer a produção de culturas, no entanto, o uso excessivo de fertilizantes minerais pode causar alterações no solo como, redução da atividade dos microrganismos, alterações no pH e redução dos teores de magnésio, cálcio e principalmente de carbono que, conseqüentemente, pode causar mudanças no fluxo de CO₂ do solo (Treseder 2008). A uréia é um dos fertilizantes nitrogenados mais utilizados, porém sua aplicação nem sempre resulta em resultados satisfatórios, devido à elevada volatilização da amônia e perda de N (Duarte et al. 2007). No solo, a uréia é rapidamente hidrolisada e convertida em amônia pela ação da urease, enzima produzida por bactérias e actinomicetos (Longo & Melo 2005).

A rotação de culturas é considerada uma prática de agricultura sustentável, tendo em vista que é menos dependente da utilização de fertilizantes químicos e juntamente com a aplicação de esterco animal e diversificação de culturas contribui para restaurar e melhorar a qualidade dos solos agrícolas (Valarini et. al. 2003).

Com garantia de maior produção agrícola e sustentabilidade ambiental, a prática de rotação de culturas pode ser uma alternativa para minimizar os impactos causados por patógenos, parasitas e por deficiências nutricionais, especialmente a de nitrogênio (Santos et al. 1999; Lombardi-Neto et al. 2002; Inomoto et al. 2006) e nesse aspecto, a contribuição das leguminosas é fundamental. Em sistemas com rotação de culturas, utilizando soja-

amendoim e forrageiro-braquiária-pousio-cana, Pankhurst et al. (2005) registraram redução de população de fitonematóides, incremento de germinação e de desenvolvimento das raízes, quando comparados ao plantio direto de cana-de-açúcar. Além desses benefícios, é conhecido o potencial das leguminosas de se associar com microrganismos solubilizadores de fosfato, que são responsáveis pela liberação e disponibilização de fósforo assimilável pelas plantas (Souchie & Abboud, 2007). Em sistemas de rotação de culturas com amendoim e milho e de diferentes doses de adubo, Alleoni & Beauclair (1995) observaram que a produtividade da cana-de-açúcar (número de perfilhos, altura e peso dos colmos) foi maior após o cultivo do amendoim, independentemente das doses de adubo.

Plantas antagonicas a nematóides, como crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy), utilizadas como adubo verde, podem favorecer o ambiente edáfico, uma vez que são capazes de fixar o nitrogênio da atmosfera, liberar exsudatos com propriedades nematostáticas, minimizar os efeitos da erosão, aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo e a atividade de fungos antagonistas, melhorando a estrutura do solo (Ferraz & Valle 1997). Nesse caso, a cultura principal se beneficia com o nitrogênio fixado pela leguminosa, que após a incorporação e decomposição do material vegetal ao solo é liberado no solo, favorecendo o desenvolvimento da cultura principal (Castro et al. 2004). Em cultivos de milho e soja, Santos et. al. (1999) observaram efeitos benéficos da adubação verde, com leguminosas (soja e tremoço), obtendo alto rendimento do milho sem adição de fertilizantes nitrogenados, demonstrando que a fixação biológica de N pela soja e pelo tremoço torna desnecessário o uso de desses fertilizantes.

A adubação verde com mucuna-preta, crotalaria, entre outras plantas, não incrementou a produtividade do algodoeiro (Carvalho et al. 2004). Os autores sugeriram esse fato, provavelmente, estava relacionado ao plantio precoce de mucuna e baixa incidência de fitonematóides no solo. Pereira & Velini (2003) observaram que a prática de rotação de culturas sob regime de plantio direto também minimiza o impacto causado por plantas daninhas.

A mucuna-preta é considerada uma das melhores plantas para a prática de rotação, pois além de ser tolerante a estresses abióticos (seca, baixa fertilidade e acidez do solo) recobre totalmente o solo, reduzindo as oscilações de temperatura e de umidade e

protegendo-o da erosão (Espíndola et al. 1997b; Ferraz & Valle 1997). Por outro lado, Bordin et al. (2003) verificaram que a crotalária apresentou cobertura vegetal de apenas 60%, quando comparada a outras culturas, como *Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown e *Sorghum bicolor* (L.) Moench (S. vulgare Pers.) que atingiram 100% de cobertura, quando utilizadas em rotação com o feijão e o arroz.

A utilização da mucuna-preta como planta antagônica à fitonematóides foi registrada por Barbosa et al. (1999). Os autores observaram redução do número de ovos de nematóides de 44 a 64% em relação ao controle. Registros de redução da população de fitonematóides após o plantio da mucuna foram também observados por Vargas-Ayala & Rodríguez-Kábana (2001), Ritzinger & McSorley (1998) e McSorley et al. (1994).

Na decomposição das leguminosas crotalária e mucuna-preta são liberadas substâncias aleloquímicas que no solo incrementam a atividade biológica, diminuindo assim a predominância de fitonematóides e favorecendo ao equilíbrio do ecossistema (Espíndola et al. 1997b).

Além de fixar nitrogênio do ar, *Crotalaria juncea* favorece ao desenvolvimento, na rizosfera, de antagonistas naturais dos fitonematóides (Wang et al. 2004), sendo esta bastante utilizada como adubo verde e controle de nematóides (Stetina et al. 2007). Esta planta apresenta rápido crescimento, resistência à seca e as suas raízes e folhas contêm compostos alcalóides tóxicos a vertebrados e nematóides, como a monocrotalina (Barreto et al. 2006) e a pirrolizidina (Nobre et al. 2004). No entanto, em áreas de plantio da soja, Desaegeer & Rao (2003) não observaram efeito antagonista de crotalária sobre *Pratylenchus* spp. Os autores sugeriram que, provavelmente, o fertilizante aplicado à cultura pode ter minimizado o efeito antagonista da leguminosa. Já Wang et al. (2003) observaram que apesar de não suprimir a população de nematóides, a atuação da crotalária foi melhor quando os solos apresentaram baixo teor de matéria orgânica e baixa atividade antagônica as bactérias e aos fungos. Para os autores, é importante conhecer o histórico do terreno antes da utilização dessa leguminosa como adubo verde.

Apesar de ser altamente recomendada para aplicação em países de clima tropical (Wang et al. 2007), o cultivo da crotalária no Brasil apresenta problemas de toxicidade a animais, não gera renda imediata e não se desenvolve bem em determinadas regiões (Ferraz & Valle 1997).

2.3 ATIVIDADE E BIOMASSA MICROBIANA

A rizosfera, região do solo próxima às raízes, constitui ambiente favorável à atividade de microrganismos que contribuem para ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e produção do húmus (Ruiz 1992). No entanto, mudanças provocadas pelo sistema de produção, como plantio direto e rotação de culturas, podem contribuir para alterar as populações dos microrganismos do solo (Castro & Prado 1993). Da mesma forma os exsudatos radiculares liberados em respostas a estresses bióticos (parasitismo e ação de patógenos) e abióticos (aplicação de produtos químicos), bem como as interações que ocorrem na rizosfera, resultam na síntese de metabólitos como íons, água, enzimas, mucilagem, além de compostos de carbono e amina, que podem influenciar de forma determinante a população microbiana do solo (Bertin et al. 2003).

Os fungos apresentam rápida dispersão, abundância e diversidade no solo (Cavalcanti et al. 2006) e participam de inúmeras atividades nos ecossistemas como, ciclo de nutrientes, decomposição de matéria orgânica, desintoxicação do solo, síntese de húmus, mutualismo (FMA), parasitismo, predação, produção de enzimas, permeabilidade e contenção de íons e água no solo, entre outras (Christensen 1989).

A microbiota do solo tem impacto na produtividade das plantas atuando por dois mecanismos distintos, por efeito direto, na qual os microrganismos se associam às plantas de forma mutualística ou patogênica e efeito indireto sobre a atividade de microrganismos de vida-livre que interferem no suprimento de nutrientes na rizosfera (Van der Heidjen et al. 2008).

Algumas bactérias e fungos do solo formam associações simbióticas com plantas contribuindo para o aumento do desenvolvimento da planta, suprindo-a de nutrientes, como o fósforo e o nitrogênio, que se encontram de forma limitada na rizosfera (Van der Heidjen et al. 2008). Como exemplo dessas associações, o rizóbio, que apresenta capacidade formar nódulos em raízes de leguminosas, possui papel importante na agricultura por fixarem N atmosférico (Freitas et al. 2007; Cardoso et al. 2007).

O sistema simbiótico rizóbio-leguminosa além de representar processo de grande importância é responsável pela incorporação de quantidades consideráveis de nitrogênio atmosférico, tanto em ecossistemas nativos quanto em sistemas agrícolas (Santos et al. 2008). No solo, essas bactérias podem atuar sinergicamente com os fungos, principalmente

com os FMA (Gross et al. 2004) e com microrganismos solubilizadores de fosfato (Singh & Kapoor 1998).

A qualidade do solo depende das propriedades físicas, químicas, biológicas, bioquímicas e microbiológicas, que não podem ser analisadas de forma isolada. Para melhor compreensão da dinâmica do ambiente edáfico, diversos parâmetros relacionados à população e metabolismo microbiano devem ser utilizados (Bending et al. 2004; Frouz & Nováková, 2005; Ramsey et al. 2005; Bastida et al. 2006).

Para avaliação da qualidade do solo é importante que sejam utilizados indicadores, sensíveis às modificações que o manejo causa ao solo, que permitam diagnosticar as mudanças ocorridas ou que poderão ocorrer no solo e que sejam, preferencialmente, de fácil acesso e compreensão para o agricultor (Doran & Zeiss, 2000).

Segundo Islam & Weil (2000) os indicadores podem ser classificados em: (a) efêmeros, onde as mudanças, no solo, ocorrem em curto espaço de tempo (pH, disponibilidade de nutrientes e de água e respiração edáfica); (b) intermediários, conseguem indicar as funções do solo (agregação, respiração e biomassa microbiana) em um determinado período de tempo; e (c) permanentes, que são inerentes ao solo (profundidade, textura e mineralogia).

A atividade de enzimas relacionadas ao ciclo de nutrientes como o carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) tem sido utilizada para estudar os efeitos das práticas agrícolas no solo (Graham & Haynes 2005).

As enzimas presentes ativamente ou inativamente na matriz do solo ou em células viáveis, inviáveis ou mortas, têm importante papel nos processos de mineralização da matéria orgânica e em outros processos biológicos (Miller & Dick 1995). Dentre estas enzimas, a desidrogenase, presente em todos os microrganismos, envolvida no ciclo do C, reflete o poder oxidativo do solo e indica o total de células microbianas viáveis (Gianfreda et al. 2005). Em campo experimental na Alemanha, Friedel et al. (1996) estudando indicadores de qualidade do solo sobre os sistemas de cultivo e de rotação de culturas, constataram que houve aumento na atividade das enzimas desidrogenase e urease.

A prática de cultivo do solo, a exemplo da cana-de-açúcar, pode influenciar a diversidade e estrutura da microbiota presente no solo. Também pode ocasionar alterações nas características físicas como densidade, volume, tamanho dos poros e estabilidade dos

agregados do solo e reduzir a infiltração de água causando erosão (Bertol et al. 2004; Grayston et al. 2001). Dessa maneira, a matéria orgânica presente no solo é afetada, prejudicando a microbiota, uma vez que a matéria orgânica é considerada uma das principais fontes de nutrientes para os microrganismos, constituindo-se em ferramenta importante na avaliação da qualidade do solo (Xavier et al. 2006).

A influência de queimadas e fertilização (N, P, K) em cana-de-açúcar, sobre a respiração basal, biomassa microbiana, sacarase e da desidrogenase em resíduos, foi avaliada na África do Sul por Graham & Haynes (2005). Os autores observaram que todos os indicadores responderam bem à fertilização do solo, com exceção da desidrogenase que apresentou melhor atividade em resíduos de queimada, e sugeriram que este fato ocorreu devido ao estresse da microbiota com consequente aumento na atividade, além de que, a atividade de desidrogenase não responde bem a fertilização nitrogenada.

O carbono da biomassa microbiana é definida como a porção viva da matéria orgânica do solo, sendo um dos indicadores de qualidade do solo mais sensível as mudanças ocorridas no solo, permitindo investigar se as práticas de manejo de solo adotadas contribuem ou não para melhorar sua qualidade (De-Polli & Pimentel 2005).

A influência de práticas agrícolas sobre a biomassa microbiana tem sido objeto de estudos. Mendes et al. (2003) observaram que o sistema de cultivo convencional contribuiu para a redução da biomassa microbiana no solo em relação ao plantio direto e ao cerrado nativo. Da mesma forma, Araújo et al. (2008) observaram que o cultivo orgânico de acerola, proporcionou respostas rápidas de atividade e biomassa microbiana, com aumento gradativo de C até 24 meses, em relação ao cultivo convencional.

A produção do CO₂ avalia a respiração dos organismos heterotróficos aeróbicos durante a oxidação do substrato orgânico do solo, sendo a sua avaliação bastante utilizada para aferir a atividade microbiana, pois após o peneiramento do solo os organismos da mesofauna e partes da plantas (raízes) que poderiam influenciar os resultados são eliminados, entretanto inclui os microrganismos patógenos (Assis Júnior et al. 2003; Keltin et al. 1998). As mudanças de CO₂ atmosférico e os impactos de ações antrópicas, a exemplo das práticas agrícolas, podem causar alterações no funcionamento do ambiente edáfico (Dijkstra et al. 2005; Lopes et al. 1986).

O quociente metabólico é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de biomassa microbiana do solo podendo ser utilizada como sensível indicador de estresse. Altos valores de qCO_2 sugerem condições desfavoráveis aos organismos do solo devido a composição e estado fisiológico da biomassa microbiana, disponibilidade de nutrientes e vários fatores abióticos (Araújo et al. 2008). Baixos valores indicam maior eficiência da biomassa microbiana na utilização dos recursos do ecossistema, ou seja, menor perda de carbono como CO_2 e maior proporção de C incorporada às células microbianas (Sakamoto & Obo 1994 apud Reis et al. 2008). A utilização desse bioindicador foi utilizado para detectar os impactos causados por herbicidas em cultivo de cana-de-açúcar (Reis et al. 2008) e na incorporação de resíduos orgânicos de plantas de cobertura (Carneiro et al. 2008).

Entre os indicadores utilizados para avaliação do solo em campo natural e sistemas de manejo com rotação e pousio, o carbono da biomassa microbiana e a produção do CO_2 mostraram maior sensibilidade, registrando reduções entre 53,8 a 88,4% (rotação) e 78,6 a 89,4% (pousio) em relação ao campo natural, embora o tratamento com rotação mucuna-milho tenha sido eficiente para manter os coeficientes de nitrogênio total em até 56%, quando comparado ao campo natural (Conceição et al. 2005).

Em relação à aplicação de pesticidas, estudo realizado por Eisenhauer et al. (2009) na Alemanha, utilizaram como indicadores biológicos a respiração basal e a biomassa microbiana para avaliar os efeitos de inseticidas e nematicidas sobre a microbiota, na qual observaram que os efeitos de alguns pesticidas a exemplo do inseticida clorofito e nematicida fosthiazate não afetaram esses parâmetros. Entretanto, em estudo realizado na Universidade Federal de Viçosa aplicação dos herbicidas Fusilad®, Flex® e Robust®, todos, afetaram a biomassa microbiana, assim como o quociente microbiano ($qMic$) (Santos et al. 2005).

2.4 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

As micorrizas arbusculares, associação mutualística mais comum dentre as diversas simbioses existentes, é formada por raízes de plantas e fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Esses simbiontes obrigatórios precisam estar associados a raízes de plantas para completarem seu ciclo de vida. Nessa associação, a planta fornece carbono e em troca, o

fungo pode contribuir para o aumento da absorção de nutrientes do solo, tolerância a estresses abióticos e bióticos, atividade fotossintética e crescimento vegetal (Mehrothra 2005).

A micorrização é iniciada pela penetração de hifas, que vêm de outras raízes micorrizadas ou à partir da germinação de esporos, na raiz da planta hospedeira. O micélio intraradicular coloniza o córtex da raiz formando outras estruturas, como arbúsculos e vesículas. No solo, o micélio extraradicular atua como extensão das raízes aumentando a área de absorção de água e nutrientes, além de formar os glomerosporos e em alguns casos, células auxiliares (Morton et al. 2004).

Os FMA são importantes em áreas agrícolas, principalmente naquelas com deficiência em nutrientes, como o N e o P, pois além de formarem associações com as plantas cultivadas favorecem a agregação das partículas do solo pela presença de uma glicoproteína denominada glomalina de coloração vermelho-marrom (após extração) e estrutura ainda não completamente definida (Wright et al. 2006). A glomalina é encontrada exclusivamente na parede das hifas e dos esporos de FMA e quando incorporada ao solo contribui para o aumento da estabilidade dos agregados, porosidade e reserva de C do solo, favorecendo a aeração, infiltração de água e conseqüentemente o desenvolvimento da comunidade microbiana (Roldán et al. 2007; Wright & Upadhyaya 1998).

A glomalina está relacionada com o carbono da matéria orgânica do solo, uma vez que essa glicoproteína pode ser sensível indicador de alterações no teor de C ocorridas em áreas de manejo (Rillig et al. 2003). No horizonte A do solo Rillig et al (2001a) encontraram na fração de Glomalina Total, valores superiores a 100 mg glomalina g de solo. Esta glicoproteína contém ferro e a quantidade de ferro seqüestrada pela glomalina tem conseqüências interessantes para a ecologia da rizosfera como, por exemplo, a limitação da quantidade de ferro disponível para absorção por fungos fitopatogênicos. Os autores sugerem que a glomalina pode ligar o ferro em quantidades variáveis de acordo com o ambiente do solo, e que altas concentrações de glomalina podem ser explicadas pela combinação de vários fatores, entre eles, a longa estação tropical de crescimento, prevalência de plantas micorrízicas no ecossistema, alto conteúdo de matéria orgânica no solo e alto teor de ferro.

Em solos pobres em matéria orgânica e que apresentam baixo potencial de infectividade de FMA, os propágulos introduzidos na forma de solo-inóculo, contendo esporos, micélio e/ou fragmentos de raízes micorrizadas, podem contribuir para o estabelecimento de plantas, permitindo assim o início do processo de recuperação da microbiota do solo (Smith & Read 1997). O aumento do número de propágulos infectivos de FMA foi obtido com a adubação verde com crotalária e mucuna-preta, respectivamente, 117 e 118 propágulos infectivos por 100g solo⁻¹, evidenciando efeito benéfico dessa prática, uma vez que a adubação com a mucuna possibilitou maior produtividade de tubérculos de batata-doce e a crotalária minimizou a incidência de batatas rachadas (Espíndola et al. 1997b).

A influência de propriedades do solo na micorrização, a exemplo da matéria orgânica, textura do solo, pH, teor de fósforo e tipo de hospedeiro foram estudado por Carrenho et al. (2007). Os autores observaram que a textura do solo influenciou mais a colonização micorrízica em sorgo, milho e amendoim do que a matéria orgânica.

Avaliando sistemas agroflorestal e monocultivo, Silva Júnior & Cardoso (2006) observaram que a colonização é influenciada pelo manejo empregado. Miranda et al. (2005) verificaram que a rotação de cultura com soja-milho e milho-soja favoreceu a esporulação micorrízica e a diversidade de FMA.

É importante a seleção de uma prática agrícola que cause menor impacto aos propágulos de FMA, pois foi verificado que o tipo de manejo (cultivo convencional ou rotação de culturas) influencia o número de propágulos infectivos, e conseqüentemente podem afetar a efetividade dos FMA, que por sua vez dependem do número de propágulos ativos remanescentes no solo (Borie et al. 2006). Bowen (1987) registrou aumento na população de FMA nativos em solo de cerrado após a incorporação da mucuna-preta e da soja em relação ao solo deixado em pousio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA

O trabalho foi desenvolvido em duas áreas: Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) situada no município de Carpina-PE (solo argiloso); Usina Santa Tereza, localizada no município de

Goiana-PE (solo arenoso). Durante o período experimental e de coleta das amostras foram registrados os seguintes dados meteorológicos:

Local: Carpina					
Ano	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)		
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Total
2005	-	-	-	-	-
2006	35,5	15,5	49,8	1,2	835,0
2007	35,0	22,5	67,5	5,8	1.122,4
2008	34,5	16,6	53,8	1,2	1.174,2
Local: Goiana					
2005	-	-	-	-	-
2006	34,0	19,1	84,0	5,5	1.601,4
2007	34,2	18,5	66,5	10,2	1.801,4
2008	35,0	15,0	103,5	0,8	2.017,2

Dados não disponíveis; Fonte: INMET (www.agritempo.gov.br/agroclima)

Os campos experimentais foram instalados, de forma semelhante nas duas áreas, no primeiro semestre de 2005. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas em cada área (Figura 1). A unidade experimental constou de um talhão com 5 linhas de 10 m de comprimento e espaçamento de 1,5 m (entrelinhas), sendo a área útil equivalente as três linhas centrais. Os tratamentos constaram de:

- A – Plantio da cana-de-açúcar (Controle);
- B – Tratamento do solo com o nematicida Carbofuran (carbamato), seguido de plantio.
- C – Tratamento do solo com o nematicida Terbufós (fosforado), seguido de plantio.
- D – Plantio da cana-de-açúcar, após dois anos de pousio (vegetação espontânea);
- E – Plantio da cana-de-açúcar após dois anos de cultivo alternado de mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy) e crotalária (*Crotalaria juncea* L.), com incorporação a cada três meses;
- F – Plantio da cana de açúcar, após dois anos de cultivo alternado de crotalária e mucuna-preta, com incorporação a cada três meses.

B1	B2	B3	B4
A	E	B	F
B	B	C	B
F	C	F	D
C	D	E	A
E	F	A	C
D	A	D	E

ESTRADA

Figura 1. Croquis de campo dos experimentos instalados na Estação Experimental do Carpina da UFRPE (Carpina, PE) e na Usina Santa Tereza (Goiana-PE)

A rotação com mucuna-preta ou crotalária foi realizada no mês de abril (início das chuvas) permanecendo no campo até junho, quando foi feita a incorporação das leguminosas. Durante todo mês de julho o material permaneceu no solo para que a mineralização ocorresse. O processo foi repetido no início de agosto, com o plantio da crotalária ou mucuna de acordo com o tratamento, indo até novembro, seguindo o mesmo procedimento com a repetição do processo no segundo ano.

Os nematicidas Carbofuran (metilcarbamato de benzofuralina ($C_{12}H_{15}NO_3$), solubilidade 9000 ppm) e Terbufós (organofosforado, solubilidade 5ppm) foram aplicados em dose única, no fundo do sulco, no mês de abril de acordo com a recomendação do fabricante (60 kg i.a./ha).

O pousio foi estabelecido deixando-se a área não capinada permanecendo com espécies vegetais, com predominância de gramíneas (não identificadas) crescendo livremente.

O tratamento Controle consistiu no plantio da cana-de-açúcar (variedade SP79-1011).

Após dois anos de manutenção dos tratamentos, foi feito o plantio, em sulcos, da cana-de-açúcar. Entre os tratos culturais foram feitas apenas capinas, realizadas até o terceiro mês, e irrigação por pivô central.

3.2 COLETA DE SOLO

Dois meses após o plantio da cana foram realizadas coletas de solo, na área útil das parcelas à profundidade de 0-20 cm. Foram retiradas duas subamostras de solo em cada fileira totalizando seis por parcela.

As subamostras de cada parcela foram misturadas formando uma amostra composta que foi utilizada para caracterização química e física do solo (EMBRAPA 1997), determinação do número e identificação de glomerosporos, número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA, determinação de proteínas relacionadas à glomalina. Nas variáveis da atividade microbiana (respiração edáfica, carbono da biomassa, coeficiente do CO₂, hidrólise do diacetato de fluoresceína, atividade da desidrogenase e sacarase) as amostras de solo foram condicionadas no refrigerador (10°C) para posterior avaliação durante quatro meses.

3.3 AVALIAÇÃO DOS FMA

3.3.1 Número e identificação de glomerosporos

Glomerosporos foram extraídos em 50 g de solo pelo método de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson 1963), centrifugação em água e sacarose (Jenkins 1964) e quantificados em placa canaletada, com auxílio de estereomicroscópio (40x). Após extração os esporos foram agrupados e montados entre lâmina e lamínula com álcool polivinílico e lactoglicerol (PVLG) e PVLG + Melzer e identificados utilizando o manual de identificação de FMA (Schenck & Pérez 1990) e o banco de dados do INVAM (International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi-<http://www.invam.caf.wvu.edu>).

A riqueza foi determinada de acordo com o número de espécies de FMA que ocorreram na área. Para medir a similaridade de espécies entre as áreas foi determinado o coeficiente de Sorensen (Brower & Zar, 1984), segundo a equação: $S = \frac{2c}{(a+b)} \times 100$, onde: c = número de espécies comuns as duas áreas (Goiana e Carpina); a = número de espécies em Goiana; e b = número de espécies em Carpina. A frequência de ocorrência das espécies

foi estimada segundo a equação: $Fi = \frac{Ji}{k} \times 100$ onde, Ji = tratamentos nas quais a espécie ocorreu; k = número total de tratamentos.

3.3.2 Potencial de infectividade dos FMA no solo

O potencial de infectividade dos propágulos de FMA presentes no solo foi determinado utilizando-se o número mais provável (NMP) (diluições: 0; 1:10; 1:100 e 1:1000) de acordo com Feldmann & Idzack (1994) em potes de 300 mL tendo como diluente areia lavada e esterilizada em autoclave e o milho (*Zea mays* L.) como hospedeiro e a avaliação realizada após 30 dias. As raízes foram clarificadas, coradas (Phillips & Hayman 1970) e avaliadas (presença ou ausência de colonização), sendo os resultados expressos em número de propágulos de FMA por cm^3 de solo.

3.3.3 Quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSRGFE)

A quantificação de PSRGFE foi realizada segundo o método de Wright & Upadhyaya (1998). Amostras de 0,25 g de agregados (fração 1-2 mm) foram autoclavadas com 2 mL de citrato de sódio (20mM; pH 7,0) por 30 minutos, seguida de centrifugação (10000 g/5 min) e o sobrenadante armazenado em freezer (-4°C). As frações de glomalina foram quantificadas pelo método de Bradford (1976) em espectrofotômetro (595 nm) tendo como curva-padrão soro albumina bovina (BSA) e os dados expressos em mg de glomalina g^{-1} de agregado.

3.4 ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO

3.4.1 Avaliação da respiração do solo

Amostras de 100 g de solo foram incubadas em frasco rosqueável com 10 mL de KOH (0,5 N) e avaliadas no décimo quinto dia de incubação. O CO_2 foi quantificado por titulação com HCl 0,1 N utilizando fenolftaleína (0,1% em etanol) e alaranjado de metila (1%) como indicadores de pH e o CO_2 emitido através da respiração dos microrganismos expresso em $\mu\text{g g de solo seco dia}^{-1}$ (Grisi 1978).

3.4.2 Carbono da biomassa microbiana

A biomassa microbiana foi determinada pelo método colorimétrico segundo Barlett & Ross (1988) utilizando o permanganato de potássio como agente oxidante. Para a extração do carbono foram pesadas 4g de solo e utilizado o clorofórmio como agente fumigante. O carbono é extraído com o uso de uma solução salina de K_2SO_4 0,5M, e posteriormente adicionados 2,0 mL do extrato, 3mL de água deionizada, 2,5 mL de uma solução de trabalho (adicionados na ordem 0,2 L de água deionizada, 0,3L de pirofosfato de sódio 0,1M, 0,046L de H_2SO_4 0,5M, 0,02L de permanganato de potássio 0,1M, 0,08L de Sulfato de manganês, o volume completado para 1L de água deionizada) e a leitura feita em espectrofotômetro a 495nm.

3.4.3 Quociente respiratório (qCO_2)

O qCO_2 foi determinado pela razão entre o carbono do CO_2 liberado e o carbono da biomassa microbiana do solo (Anderson & Domsch 1985).

3.4.4 Atividade enzimática do solo

Para a enzima relacionada ao C, foi determinada a atividade da sacarase calculada a partir dos açúcares redutores após incubação das amostras com sacarose (Schinner & Von Mersi 1990).

Em relação ao metabolismo ativo da microbiota foi estimada a enzima desidrogenase à partir da redução do cloreto de 2,3,5 trifeniltetrazolium (TTC) em trifenilformazan (TTF) (Casida et al. 1964)

3.5 AVALIAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Aos dois meses após o plantio foram avaliados o número de perfilhos e determinados o comprimento, diâmetro e massa dos colmos aos 15 meses (Figura 2).



Figura 2. Vista geral da colheita e avaliação do experimento (Estação Experimental de Carpina da UFRPE (Carpina-PE)).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise, os dados do número de esporos de FMA foram transformados em $\log(x+1)$ e os das propriedades químicas e físicas do solo transformados em $\sqrt{x+1}$. Os dados foram submetidos à análise de variância, as médias comparadas pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) e estudos de correlação simples de Pearson (r) relacionando as propriedades químicas e biológicas do solo foram realizados utilizando o programa Assistat (2003).

Os valores de correlação (r) foram categorizados de acordo com Miller (1994), sendo desprezível (0,01 a 0,09); baixa (0,10 a 0,29); moderada (0,30 a 0,49); substancial (0,50 a 0,69); muito alta (0,70 a 0,99) e perfeita (1).

Os dados da produtividade da cana-de-açúcar foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO

Diferenças significativas foram observadas apenas nos tratamentos do solo de Carpina (Tabela 1).

No tratamento pousio foram observados valores mais elevados de pH, K e Mg, do que na rotação de cultura com crotalária-mucuna enquanto o teor de Al no solo foi inferior ao da rotação mucuna-crotalária. Resultado inverso, em relação ao pH, foi registrado por Yusuf et al. (2009) em área de savana no nordeste da Guinéa onde o pH do solo sob rotação de cultura com caupi-milho foi levemente maior do que após dois anos de pousio antes do plantio de milho. Práticas culturais anteriormente aplicadas na área experimental de Carpina, onde havia plantio de cana-de-açúcar, podem ter influenciado o pH do solo, pois segundo Araújo et al. (2008) fatores tais como a intensidade da adubação, a remoção das bases trocáveis pelas plantas, a atividade microbiana de decomposição da matéria orgânica podem alterar o pH do solo.

No tratamento pousio foi observada elevação nos teores de M.O. em relação a rotação mucuna-crotalária. A prática de pousio recupera os nutrientes no solo que anteriormente foram utilizados em cultivos, além de reduzir a erosão mantendo o solo em boas condições físicas e biológicas (Tian et al. 2005). No pousio, M.O., Mg e K foram recuperados em maior quantidade do que na rotação mucuna-crotalária. O mesmo foi observado para N, P, K, Ca e Mg em cultivo de arroz que, após três anos de pousio, incrementou o crescimento e a produção da cultura (Silva et al. 1991).

No tratamento Controle foram observados maiores teores de Cu em relação à terbufós e rotação na rotação mucuna-crotalária e de Na, quando o terbufós é comparado aos tratamentos de rotação mucuna-crotalária e na seqüência inversa (Tabela 1).

O teor de Cu foi $0,32 \text{ mg dm}^3$ no tratamento controle e $0,20 \text{ mg dm}^3$ nos tratamentos com terbufós e rotação mucuna-crotalária valores considerados médios, segundo Tomé Jr. (1997). Nesse mesmo tratamento de rotação os teores de Cu e M.O. no solo foram inferiores ao Controle. O pH, a matéria orgânica, tipo de solo e a presença de íons metálicos são alguns fatores que podem causar perda na solubilidade do cobre no solo (Abreu et al. 2007). No entanto, o pH registrado nos solos desses tratamentos não apresentou alterações.

No solo das parcelas com rotação mucuna-crotalária os valores de M.O. foram menores do que nos tratamentos Controle e pousio enquanto o Al foi maior do que no tratamento com o nematicida terbufós. Esperava-se teores de M.O. mais elevados no solo, nos tratamentos de rotação de culturas. A adubação verde, de um modo geral, tem efeito positivo no teor de matéria orgânica do solo estimulando a atividade enzimática dos microrganismos e criando um ambiente edáfico favorável ao desenvolvimento da planta (Tejada et al. 2007).

No entanto, é possível que após a rotação mucuna-crotalária e a incorporação do material vegetal das leguminosas, ao solo, grande parte do carbono oriundo dessa adubação verde, auxiliado pela associação micorrízica, já que o NMP e o número de glomerosporos foram maiores nesse tratamento, tenha sido utilizado pela cana-de-açúcar incrementando, dessa forma, a sua produtividade (tabela 7). Outra possibilidade é que parte da matéria orgânica tenha sido degradada por atividade de outros microrganismos do solo resultando na mineralização dos nutrientes imobilizados na fitomassa das leguminosas favorecendo a atividade microbiana do solo (Carneiro et al. 2008).

4.2 STATUS MICORRÍZICO NA RIZOSFERA DE CANA-DE-AÇÚCAR

4.2.1 Número de Propágulos Infectivos de FMA

Maior número de propágulos de FMA infectivos (NMP) foi registrado nos tratamentos de rotação de culturas utilizando mucuna-crotalária (240 propágulos cm^3) e crotalária-mucuna (130 propágulos cm^3), respectivamente, em Carpina e Goiana (Tabela 2). Os valores encontrados são superiores aqueles encontrados por Espíndola et al. (1997) que registraram 117 e 118 propágulos infectivos por 100g solo^{-1} , também após a incorporação ao solo da mucuna preta e crotalária, respectivamente. Os resultados obtidos evidenciam o efeito benéfico dessa prática, em relação aos demais tratamentos, nos solos estudados.

Tabela 1. Características do solo da rizosfera de cana-de-açúcar em áreas experimentais situadas na Usina Santa Tereza (Goiana, PE) e Estação Experimental do Carpina da UFRPE (Carpina, PE)

Tratamento	pH em H ₂ O	P	Fe	Cu	Zn	Mn	K	Na	Al	Ca	Mg	H	S	M.O.
		mg dm ³					cmol _c dm ³							g dm ³
Usina Santa Tereza (Goiana, PE)														
Controle	5,60 a	12,24 a	197,50 a	1,15 a	1,42 a	7,25 a	0,124 a	0,019 a	0,29 a	1,72 a	0,68 a	2,32 a	2,57 a	20,0 a
Nematicida carbofurán	5,50 a	15,14 a	205,00 a	1,07 a	1,37 a	6,25 a	0,129 a	0,019 a	0,41 a	1,60 a	0,64 a	2,36 a	2,40 a	17,2 a
Nematicida terbufós	5,60 a	12,78 a	180,00 a	1,07 a	1,42 a	7,37 a	0,134 a	0,021 a	0,36 a	1,58 a	0,69 a	2,35 a	2,45 a	20,2 a
Pousio	5,50 a	9,93 a	195,00 a	1,22 a	1,45 a	5,05 a	0,112 a	0,021 a	0,45 a	1,80 a	0,68 a	2,36 a	2,62 a	17,8 a
Rotação mucuna-crotalária	5,60 a	13,14 a	190,00 a	1,27 a	1,50 a	9,12 a	0,113 a	0,022 a	0,32 a	1,75 a	0,71 a	2,29 a	2,62 a	20,4 a
Rotação crotalária-mucuna	5,50 a	17,46 a	225,00 a	1,15 a	1,47 a	5,15 a	0,118 a	0,019 a	0,49 a	1,27 a	0,68 a	2,39 a	2,38 a	17,4 a
C.V (%)	0,69	15,06	4,87	4,73	4,30	9,53	4,62	3,69	26,9	7,94	12,16	1,48	7,29	3,60
Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (Carpina, PE)														
Controle	5,6 ab	13,00 a	78,70 a	0,32 a	4,67 a	8,27 a	0,137 ab	0,172 a	0,55 ab	2,42 a	0,80 ab	6,17 a	3,52 a	37,6 a
Nematicida carbofurán	5,7 ab	12,25 a	77,92 a	0,22 ab	5,57 a	8,70 a	0,132 ab	0,125 ab	0,50 ab	2,67 a	0,75 ab	6,40 a	3,68 a	35,8 ab
Nematicida terbufós	5,8 ab	15,25 a	75,85 a	0,20 b	8,57 a	13,07 a	0,132 ab	0,112 b	0,25 b	2,45 a	0,97 ab	5,80 a	3,67 a	33,6 ab
Pousio	5,9 a	12,25 a	68,35 a	0,25 ab	6,17 a	8,75 a	0,150 a	0,117 ab	0,22 b	2,50 a	1,40 a	6,27 a	4,16 a	38,0 a
Rotação mucuna-crotalária	5,5 ab	10,75 a	75,37 a	0,20 b	4,92 a	7,77 a	0,100 b	0,112 b	0,60 a	2,37 a	0,50 b	6,07 a	3,09 a	30,4 b
Rotação crotalária-mucuna	5,4 b	10,00 a	78,72 a	0,22 ab	6,10 a	8,50 a	0,090 b	0,085 b	0,47 ab	2,22 a	0,60 b	6,92 a	3,13 a	36,0 ab
C.V (%)	1,04	5,31	2,46	30,18	11,16	8,11	19,55	29,38	46,63	18,81	22,53	13,15	21,14	12,35

Médias seguidas da mesma letra, na coluna e para cada local, não diferem pelo teste de Duncan (p<0,05)

Tabela 2. Número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA, número de glomerosporos e quantificação de proteínas do solo relacionadas à glomalina facilmente extraível (PSRG FE) em solo da rizosfera de cana-de-açúcar submetida a diferentes práticas culturais, em áreas experimentais situadas na Usina Santa Tereza (Goiana, PE) e Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da UFRPE (Carpina, PE)

Tratamentos	NMP (cm³ solo⁻¹)	N^o glomerosporos (100 g solo⁻¹)	PSRG FE (mg g agregados⁻¹)
Usina Santa Tereza (Goiana, PE)			
Controle	17	16 d	1,13 a
Nematicida carbofurán	40	34 bc	1,06 a
Nematicida terbufós	49	20 cd	1,00 a
Pousio	12	18 cd	0,86 a
Rotação mucuna-crotalária	22	46 ab	0,92 a
Rotação crotalária-mucuna	130	60 a	0,84 a
C.V (%)	-	7,29	2,17
Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (Carpina, PE)			
Controle	40	28 cd	2,18 a
Nematicida carbofurán	49	18 d	1,87 a
Nematicida terbufós	79	44 c	2,06 a
Pousio	49	38 c	2,94 a
Rotação mucuna-crotalária	240	262 a	2,66 a
Rotação crotalária-mucuna	49	122 b	2,42 a
C.V (%)	-	6,37	10,98

Médias seguidas da mesma letra, na coluna e para cada local, não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$)

O número de propágulos infectivos encontrados, dois anos após o plantio das leguminosas, independentemente da seqüência utilizada, indica o benéfico promovido pela incorporação prévia de mucuna-preta e crotalária, antes do plantio da cana-de-açúcar, que pode ter melhorado a qualidade do solo, especialmente no experimento de Carpina (Tabela 2). A maioria das espécies de plantas leguminosas forma micorriza e, pode associar-se também a bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico que podem ter contribuído para a melhoria do solo.

4.2.2 Número de Glomerosporos

Os efeitos dos nematicidas carbofurán e terbufós sobre os FMA não foram observados dois anos depois da aplicação tendo em vista que o número de glomerosporos na rizosfera da cana-de-açúcar foi semelhante aos dos tratamentos controle e pousio, nos dois locais de estudo. O mesmo efeito aconteceu com o nematicida fenamifós aplicado para controle de nematóide em trevo não interferiu no número de esporos de FMA 16 semanas

após a aplicação (Bakhtiar et al. 2001). Esses resultados indicam que os FMA apresentaram um grau considerável de resiliência aos produtos, pois aplicação do nematicida carbofurán em doses superiores a partir de 5 kg ha⁻¹ inibe a atividade dos FMA (Venkateswarlu et al. 1994).

Os valores de glomerosporos encontrados após dois anos de rotação, foram menores do que aqueles relatados por Borie et al. (2006) (7 glomerosporos g⁻¹ de solo) em sistemas agrícolas, após cinco anos de rotação incluindo dois anos de pastagem seguida do plantio aveia-tremoço-trigo e maiores do que os obtidos por Silva Júnior & Cardoso (2006) (27 glomerosporos por 50 g⁻¹ de solo) em sistema de monocultivo de cupuaçu e pupunha. Valores de glomerosporos semelhantes aos encontrados neste trabalho foram obtidos em outras áreas de plantio de cana-de-açúcar em Pernambuco e Rio de Janeiro (Reis et al. 1999). Assim, a rotação de culturas pode ter promovido alterações quantitativas na comunidade de FMA nativos e na formação da micorriza arbuscular (Miranda et al. 2005).

A sequência aplicada na rotação de culturas também pode influenciar a esporulação dos FMA. Em Carpina, na rotação mucuna-crotalária houve maior recuperação de glomerosporos (262) do que na sequência inversa (122) enquanto no pousio foram recuperados apenas 38 glomerosporos em 100 g solo⁻¹. Em Goiana, os maiores valores de glomerosporos ocorreram no solo dos dois tratamentos de rotação de culturas em relação ao pousio, à aplicação de nematicida terbufós e ao tratamento controle. Segundo Nosse et al. (2008) os resíduos vegetais e o tipo de manejo utilizado influenciaram a multiplicação de esporos no solo, após incorporação de crotalária e mucuna-preta antes do cultivo do arroz, onde foram registrados 231 e 289 glomerosporos, respectivamente, enquanto no pousio foram recuperados mais de 300 esporos em 100 g solo⁻¹. Por outro lado, durante o período experimental o índice pluviométrico em Goiana foi quase o dobro do registrado em Carpina o que pode ter contribuído para reduzir a quantidade de glomerosporos no solo.

Em geral os valores de NMP e número de glomerosporos estavam relacionados, mas nem sempre é possível observar essa relação. Essas variáveis não devem ser correlacionadas, pois no NMP são avaliados propágulos infectivos diversos como glomerosporos e estruturas presentes em raízes colonizadas e quando se avalia o número de glomerosporos são contados apenas os esporos aparentemente viáveis enquanto a técnica do NMP não detecta esporos dormentes, de acordo com Sieverding (1991).

4.2.3 Proteínas do solo relacionadas à glomalina facilmente extraível (PSRG FE)

Não houve diferenças na deposição da glomalina entre os tratamentos nos experimentos de Goiana e Carpina. Os valores encontrados nas duas áreas foram inferiores aos registrados por Nie et al. (2007) em solo plantado com arroz (Tabela 2). Os valores de glomalina encontrados em Carpina foram em geral mais do que o dobro daqueles registrados nos solos de Goiana e estão dentro da faixa normal (2 a 15 mg g solo⁻¹) de acordo com Wright & Upadhyaya (1998). De acordo com Rillig et al. (2003) essa glicoproteína está relacionada ao teor de matéria orgânica do solo. Nos solos de Carpina também foram observados valores mais elevados de M.O. (de 30 a 38%) considerados altos, enquanto os de Goiana foram médios (de 17 a 20%), segundo Tomé Jr. (1997).

4.2.4 Diversidade de FMA

No total foram encontrados 21 táxons com predominância do gênero *Acaulospora* com 10 táxons seguido de *Glomus* (4), *Fuscutata* (2), *Racocetra* (2), *Cetraspora* (1), *Kuklospora* (1) e *Paraglomus* (1) (Tabela 3).

Em Goiana foram registrados os gêneros *Acaulospora* (8), *Glomus* (3), *Fuscutata* (2), *Racocetra* (1), *Cetraspora* (1), *Kuklospora* (1) e *Paraglomus* (1). Do mesmo modo, em Carpina, *Acaulospora* foi o gênero mais abundante. Em Carpina foram recuperados todos os gêneros encontrados em Goiana, exceto o *Kuklospora*. *Acaulospora* e *Glomus* são considerados os gêneros de FMA mais abundantes e eficientes em solos agrícolas, pois são tolerantes a diversas práticas agrícolas tais como fertilização e rotação de culturas (Graham & Abbott 2000; Benedetti et al. 2005).

Espécies do gênero *Acaulospora* também predominaram em Carpina (9) e em Goiana (8) (Tabela 3). Espécies desse gênero são comumente encontradas em sistemas agrícolas o que foi também registrado em solo com plantio de cana-de-açúcar (Reis et al. 1999; Janos & Trappe 1982) e em pomares de citros mantidos em sistemas orgânico e convencional (Focchi et al. 2004). *Acaulospora mellea* foi recuperada apenas dos solos de Carpina enquanto *Acaulospora longula*, *A. morrowiae* e *Glomus etunicatum* foram observadas nos dois locais. Esses táxons são comumente encontrados em áreas agrícolas

sendo considerados tolerantes a alterações ocorridas no solo como resposta à adição de fertilizantes químicos, aplicação de pesticidas, entre outros fatores (Sieverding 1991).

Embora os solos de Goiana tenham apresentado, em geral, menor densidade de glomerosporos (16 a 60 glomerosporos 100 g solo⁻¹), menores valores de NMP (12 a 130 propágulos infectivos cm³ solo⁻¹) e menor quantidade de glomalina (0,84 a 1,13 mg g agregados⁻¹), a diversidade de FMA foi maior do que a de Carpina.

Em relação a espécies/locais, *A. excavata*, *F. savannicola*, *G. brohultii*, *G. macrocarpum*, *Racocetra* sp. e *K. colombiana* ocorreram apenas nos solos de Goiana enquanto *G. clarum*, *A. mellea*, *A. spinosa* e *Racocetra gregaria* foram exclusivas dos solos de Carpina. O índice de similaridade das espécies entre Carpina e Goiana foi de 68,75%, de acordo com Kent & Coker (1992), o índice com valores iguais ou maiores que 0,5 são considerados de alta similaridade. Sendo assim, pode-se afirmar que a similaridades de espécies de FMA entre as áreas estudadas foi alta.

Os táxons mais freqüentes em Carpina foram *Acaulospora morrowiae* (100%), *A. scrobiculata* (83,3%) e *A. tuberculata* (83,3%) enquanto em Goiana *Acaulospora morrowiae* (100%), *A. scrobiculata* (100%) e *A. tuberculata* (66,6%), *Glomus etunicatum* (66,6%) e *Paraglomus oculum* (66,6%) foram mais freqüentes.

As espécies *Acaulospora spinosa*, *Cetraspora pellucida* e *Racocetra gregaria* foram também registradas em sistemas de rotação com milho-crotalária na região oeste do Quênia (Mathimaran et al. 2007) e, *Acaulospora foveata*, *A. longula*, *A. mellea*, *A. morrowiae*, *A. tuberculata*, *Fuscutata heterogama*, *Glomus etunicatum* e *G. macrocarpum*, registradas na rizosfera da mandioca após o pré-cultivo do sorgo, crotalária, guandu, feijão-de-porco e mucuna preta (Souza et al. 1999).

O número de táxons encontrados em Carpina (15) e Goiana (17) foi maior do que aqueles registrados em canaviais localizados em Timbaúba (9) também em Pernambuco (Reis et al. 1999). A riqueza dos FMA está relacionada com o tipo de manejo aplicado no solo, a exemplo dos sistemas orgânicos em que a rotação de culturas é utilizada, com freqüência, beneficiando a diversidade dos FMA ao contrário dos sistemas de manejo convencional (Verbruggen et al. 2010).

Os tratamentos com rotação de cultura mucuna-crotalária, crotalária-mucuna e pousio contribuíram para a recuperação de maior número de táxons, 13, 16 e 16, respectivamente, enquanto o número de táxons foi menor nos tratamentos com aplicação de nematicida, 4 a 8 táxons (Tabela 3). Assim, a rotação de culturas pode promover alterações quantitativas e qualitativas na comunidade de FMA nativos (Miranda et al. 2005).

Entre os 21 táxons identificados apenas cinco (*Glomus etunicatum*, *G. clarum*, *G. macrocarpum*, *Acaulospora scrobiculata* e *Fuscutata heterogama*) foram anteriormente registrados na rizosfera de cana-de-açúcar em Pernambuco e no Rio de Janeiro por Reis et al. (1999) e *Acaulospora foveata* em cana de açúcar, banana e em vegetações secundárias no México, Costa Rica e Panamá (Janos & Trape 1982).

Dados recentes registraram a presença do *Paraglomus occultum* e a *Kuklospora colombiana* na rizosfera da cana de açúcar no Irã (Rokini et al. 2010).

Os resultados encontrados nos canaviais estudados (21 táxons) contradizem aqueles que afirmam que em agroecossistemas a diversidade dos FMA é reduzida, com registros de 6 a 11 táxons, enquanto em ecossistemas naturais são recuperados em torno de 16 táxons (Sieverding 1991). Além de confirmar a hipótese de que a rotação de cultura com crotalária e mucuna-preta, o pousio e a aplicação de nematicidas contribuem para alterações no *status* micorrízico como o aumento de propágulos infectivos, da diversidade de FMA e da produção de glomalina em relação ao plantio da cana sem a prévia aplicação dessas práticas culturais.

Tabela 3. Espécies de FMA presentes em solo da rizosfera de cana-de-açúcar cultivada, sob influência de práticas culturais, em áreas experimentais situadas na Usina Santa Tereza (Goiana, PE) e Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da UFRPE (Carpina, PE)

Z = Goiana-PE.e X = Carpina-PE

Táxons	Tratamentos					
	Controle	Carbofurán	Terbufós	Pousio	Crotalária-Mucuna	Mucuna-Crotalária
<i>Acaulospora excavata</i> Ingleby & C.Walker				Z	Z	
<i>A. foveata</i> Trappe & Janos	Z			X, Z		Z
<i>A. longula</i> Spain & N.C.Schenck			X	X, Z	X	Z
<i>A. mellea</i> Spain & N.C.Schenck			X		X	
<i>A. morrowiae</i> Spain & N.C.Schenck	X, Z	X, Z	X, Z	X, Z	X, Z	X, Z
<i>A. rugosa</i> J.B.Morton				Z	X	
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	X, Z	X, Z	X, Z	X, Z	X, Z	Z
<i>A. spinosa</i> C.Walker & Trappe				X		
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	X	X, Z	X, Z	Z	X, Z	X
<i>A. undulata</i> Sieverd.			X	Z		
<i>Cetraspora pellucida</i> (T.H.Nicolson & N.C.Schenck) Oehl, F.A. de Souza & Sieverd.			X	Z	X	
<i>Fuscutata heterogama</i> (T.H.Nicolson & Gerd.) Oehl, F.A. de Souza, L.C.Maia & Sieverd.					X	X, Z
<i>F. savannicola</i> (RA.Herrera & Ferrer) Oehl, F.A. de Souza & Sieverd.				Z		
<i>Kuklospora colombiana</i> (Spain & N.C.Schenck) Oehl & Sieverd.				Z	Z	Z
<i>Racocetra gregaria</i> (N.C.Schenck & T.H.Nicolson) Oehl, F.A. de Souza & Sieverd.					X	X
<i>Racocetra</i> sp. Oehl, F.A. de Souza & Sieverd						Z
<i>Glomus clarum</i> T.H.Nicolson & N.C.Schenck					X	
<i>G. brohultii</i> Sieverd. & Herrera				Z	Z	Z
<i>G. etunicatum</i> W.N.Becker & Gerd.	Z			Z	X, Z	Z
<i>Glomus macrocarpum</i> Tul. & C.Tul.				Z	Z	Z
<i>Paraglomus oculum</i> (C.Walker) J.B.Morton & D. Redecker = <i>G. occultum</i>		Z	X, Z	X, Z	X	Z
Riqueza de espécies	5	4	8	16	16	13
Nº total de táxons				21		

4.3 ESTUDOS DE CORRELAÇÃO

Independentemente dos tratamentos, correlações significativas foram observadas entre Glomerosporos \times P ($r = 0,42^*$) e glomalina \times K ($r = 0,47^*$) em Goiana, consideradas de grau moderado.

Correlações significativas, negativas, também de grau moderado ocorreram em Carpina entre glomerosporos \times K ($r = -0,44^*$), glomerosporos \times M.O. ($r = -0,40^*$), PSRG FE \times K ($r = -0,41^*$) e PSRG FE \times M.O. ($r = -0,40^*$).

Correlação muito alta foi constatada em Carpina entre glomerosporos \times glomalina ($r = 0,99^{**}$) enquanto em Goiana foi negativa e moderada ($r = -0,43^*$). A glomalina está presente na parede dos esporos e hifas de FMA e contribui para o aumento da estabilidade dos agregados e da reserva de C do solo, favorecendo o desenvolvimento da comunidade microbiana nesses ambientes (Roldán et al., 2007). No entanto, a correlação entre glomalina \times M.O. foi negativa, a mesma correlação ocorreu com os glomerosporos. O resultado difere da literatura (Bai et al. 2009; Wuest et al. 2005), pois somente a glomalina representa 4-5% do carbono orgânico presente no solo (Rillig et al. 2001). Quando ocorre redução de nutrientes os FMA em resposta ao estresse esporulam a fim de se estabelecerem no ambiente. Segundo Caproni et al. (2003), em áreas perturbadas na fase de recuperação, os FMA produzem mais esporos do que em ambientes menos perturbados. Entretanto, são encontrados dados na literatura que mostram correlação positiva entre glomerosporos e C e matéria orgânica (Rillig et al. 2003a).

Em Goiana, embora em grau moderado, a PSRG FE foi positivamente correlacionada com K enquanto em Carpina foi negativa. Correlação similar foi encontrada por Lovelock et al. (2004), segundo os autores, as diferenças nas taxas de deposição dessa glicoproteína varia de acordo com a fertilidade do solo. Os teores de K em Carpina foram de baixo ($0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$) a médio ($0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$) quanto que os valores da PSRG FE foram altos ($1,87$ a $2,94 \text{ mg g agregados}^{-1}$) uma vez que PSRG FE em solos agrícolas é em torno de $0,5 \text{ mg g agregados}^{-1}$ (Rillig et al. 2003b). O que indica que provavelmente os valores de K registrados, nessa área, possam ter estimulado a produção da glomalina facilmente extraída.

Os teores de Ca em Goiana foram considerados baixos e variaram de 1,27 a 1,80 enquanto os de K foram médios, de 0,112 a 0,129 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ (Tabela 2) e aparentemente

não mostraram relação com a glomalina que variou de 0,86 a 1,13 mg g agregados⁻¹ (Tabela 1). A correlação de glomerosporos × K também foi moderadamente negativa, o que indica que provavelmente os FMA auxiliaram no aumento da absorção de potássio presente no solo (Kahiluoto et al. 2009) para as raízes da cana-de-açúcar.

Os glomerosporos foram positivamente correlacionados com P, em grau moderado. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva Júnior & Cardoso (2006) em monocultivo de pupunha, evidenciando que a correlação positiva de glomerosporos com o teor de P ($r = 0,34$) foi influenciada pelo tipo de manejo aplicado, uma vez que houve maior disponibilidade de P para a cultura no monocultivo do que no sistema agroflorestal. No entanto, Pande & Tarafdar (2004) registraram correlação negativa entre a população de FMA e P e afirmam que o suprimento de P em solos agrícolas limita a transferência de C para as raízes reduzindo a disponibilidade desse elemento para os FMA. A correlação entre P e glomerosporos pode depender das características físicas, químicas e biológicas do solo e da condição nutricional da planta.

4.4 BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO

4.4.1 Respiração basal do solo

Maior emissão de CO₂ foi observada nos tratamentos com rotação de culturas na área experimental de Carpina (Tabela 4). A respiração basal é indicativa da atividade dos microrganismos. Neste sentido, a maior respiração basal nos tratamentos sob rotação de culturas pode ser devida a incorporação das leguminosas ao solo aumentando o aporte de material orgânico, favorecendo a atividade da microbiota, visto que a emissão de CO₂ está relacionada a degradação da matéria orgânica (Santos et al., 2004). Os nematicidas não alteraram a respiração basal além da atividade da desidrogenase (Tabela 5), e da biomassa microbiana, indicando ausência de efeito residual do produto particularmente nessa área, dois anos após a aplicação.

Resultados similares foram obtidos em sistema de rotação com trigo-ervilha-batata onde foi observado acúmulo de nutrientes que contribuiriam para a liberação de CO₂ (Wang et al. 2008). No entanto os valores de Carpina foram menores do que os encontrados com quatro diferentes seqüências de rotação de culturas (incluindo milho, trigo, batata e pera)

(Wang et al. 2008) e por Santos et al. (2004) sob diferentes sistemas de manejo incluindo rotação com arroz, soja, e milho com preparo convencional do solo e em sistemas de cultivo orgânico (esterco de curral) de acerola (157 a 230 $\mu\text{g C-CO}_2$ g dia) durante 6 a 24 meses (Araújo et al. 2008).

Por outro lado, na área experimental de Goiana não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4) e sim entre as áreas de estudo, o que possivelmente está relacionado à textura do solo. O campo experimental situado em Goiana apresenta solo de característica arenosa vista que ainda que a respiração possua uma estreita relação com as condições abióticas do solo entre elas a umidade, temperatura e aeração (De-Polli & Pimentel 2005). Geralmente solos arenosos apresentam baixo teor de matéria orgânica e altas taxas de infiltração e conseqüentemente baixa retenção de umidade, além de não proporcionarem à mesma proteção a matéria orgânica que os solos argilosos (CUNHA et al., 2003).

4.4.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Na área experimental de Carpina, diferenças significativas foram observadas entre a rotação de culturas, com a seqüência mucuna-crotálaria apresentando maior biomassa microbiana em relação ao tratamento crotálaria-mucuna. Possivelmente este resultado está relacionado com a incorporação inicial da mucuna no solo, pois esta além de possuir maior tempo para maturação dos resíduos orgânicos também apresenta maior biomassa vegetal quando comparada a crotálaria produzindo em torno de 35 a 40 toneladas por hectare de massa verde (Ferraz & Valle 1997), o que pode ter favorecido a microbiota do solo. Os valores registrados em Carpina foram menores do que os registrados por Benintende et al. (2008) em quatro sistemas de rotação de culturas incluindo arroz/feijão-soja/milho/feijão-soja e maiores do que os observados em solos sob rotação com milho, nabo e batata (Trasar-Cepeda et al. 2008).

No entanto, em Goiana menores quantidades do CBM foram registradas no tratamento com aplicação do terbufós (Tabela 4). Isto indica que a aplicação do nematicida (terbufós) reduziu a comunidade microbiana, possivelmente devido ao efeito residual no solo. Lanna (2003) sugere que a permanência desses resíduos no solo pode estar relacionada tanto ao teor de matéria orgânica quanto a características químicas do solo. Os

resultados corroboram com os trabalhos de Santos et al. (2005) e Das et al. (2007) que registraram os efeitos negativos de biocidas e herbicidas, respectivamente, sobre o carbono da biomassa. Apesar das pesquisas recentes, pouco se conhece sobre as respostas da microbiota do solo à aplicação de nematicidas. (Santos & Monteiro 1994).

4.4.3 Quociente metabólico (qCO_2)

Na área de Carpina, a elevação dos valores do qCO_2 , no tratamento de rotação com crotalária seguida de mucuna sugere condições de estresse no solo que pode indicar que no solo desse tratamento a biomassa microbiana foi menos eficiente no uso do C, aumentando as perdas por CO_2 e incorporando, às células microbianas, menor proporção de carbono (Araújo et al. 2008). É provável que a sequência das plantas utilizadas na cobertura do solo tenham promovido alterações na microbiota consumindo mais energia na forma de carbono o que também foi constatado em áreas com resíduos de milho, nabo forrageiro e *Crotalaria spectabilis* (Carneiro et al. 2008). Quando a mucuna foi seguida de crotalária houve benefício para a biomassa microbiana assim como à sua atividade.

Em Goiana, maior qCO_2 (0,126 μg C- CO_2 g CBM dia) foi observado no tratamento que utilizou o terbufós em relação aos demais. A aplicação do nematicida terbufós possivelmente reduziu os microrganismos dessa áreas, gerando estresse, visto que, a aplicação de insumos agrícolas apresentam diferentes impactos na microbiota do solo devido a diferenças nas comunidades microbianas (Lanna, 2003). Os resultados corroboram com aqueles de Reis et al. (2008) que quantificaram elevados qCO_2 em sistemas de monocultivo de cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas no local, obtendo-se valores maiores (0,185 a 0,295 μg C- CO_2 g CBM dia) do que os registrados no presente estudo.

Tabela 4. Influência de práticas culturais na respiração basal do solo (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e carbono da biomassa microbiana (CBM) em solos da rizosfera de canaviais cultivados na Usina Santa Tereza (Goiana, PE) e Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da UFRPE (Carpina, PE)

Tratamentos	C-CO₂ (µg C-CO₂ g solo seco dia)	qCO₂ (µg C-CO₂ g CBM dia)	Carbono da Biomassa Microbiana (µg C g solo seco)
Usina Santa Tereza (Goiana, PE)			
Plantio de Cana	2,82a	0,059b	61,75a
Carbofurán	2,20a	0,034b	93,22a
Terbufós	2,80a	0,126a	34,57b
Pousio	3,34a	0,044b	90,28a
Mucuna-Crotalária	3,58a	0,055b	75,65a
Crotalária-Mucuna	3,39a	0,049b	88,34a
C.V (%)	6,53	5,03	20,24
Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (Carpina, PE)			
Plantio de Cana	1,59d	0,031c	64,64ab
Carbofurán	2,74cd	0,040bc	48,24ab
Terbufós	2,80c	0,039bc	74,04ab
Pousio	3,47c	0,054c	73,66ab
Mucuna-Crotalária	5,55b	0,072b	79,53a
Crotalária-Mucuna	6,47a	0,172a	42,47b
C.V (%)	9,74	4,68	5,85

Médias seguidas da mesma letra, na coluna e para cada local, não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$)

4.4.4 Atividade da desidrogenase

Em Goiana, maior atividade da desidrogenase foi obtida no tratamento crotalária-mucuna quando comparado a mucuna-crotalária e pousio. É provável que as características distintas das leguminosas utilizadas, a exemplo da liberação dos exsudatos, cobertura vegetal e adaptabilidade ao local possam ter influenciado essa atividade. Os valores foram maiores que Buzinaro & Nahas (2006) em trabalho com adubação verde utilizando diferentes plantas (feijão guandu, capim braquiária e crotalária) na qual registraram redução da atividade da atividade dessa enzima (3,37 µg TTF g de solo seco) no tratamento adubado com restos de crotalária.

Por outro lado, na área experimental de Carpina, a atividade da desidrogenase foi maior no tratamento mucuna-crotalária em relação aos tratamentos terbufós, carbofuran e plantio direto. A adição de material orgânico (C e N) no solo com a incorporação das leguminosas favoreceu a atividade dos microrganismos na área estudada (Tabela 5) concordando com os resultados de Trasar-Cepeda et al. (2008) em sistemas de rotação. No

entanto, os valores quantificados foram menores do que os encontrados por Masto et al. (2006) em sistemas de rotações com milho, trigo e caupi (61 a 107 $\mu\text{g TTF g de solo seco}$) sob diferentes dosagens de fertilizantes e superiores aos registrados por Friedel et al. (1996) quando compararam o cultivo convencional de aveia com a rotação de culturas (alfafa-trigo-aveia-cevada).

4.4.5 Atividade da sacarase

Não houve diferenças na atividade da sacarase entre os tratamentos no experimento de Goiana (Tabela 5). No entanto, em Carpina, maior atividade da sacarase foi obtida no pousio em relação aos demais tratamentos, exceto ao tratamento terbufós. O que indica que o teor de carbono (Tabela 1) presente no solo desse tratamento favoreceu a atividade da sacarase já que essa enzima está relacionada ao ciclo do carbono. Segundo Martins et al. (1990) o pousio, prática menos impactante para o solo por deixar a terra em descanso, é essencial para que o solo recupere seus nutrientes. Os valores registrados (2,8 a 4, em Goiana, e 1,5 a 3,6 $\mu\text{g glicose g solo seco}$ em Carpina) foram menores do que os encontrado por Dinesh et al. (2004) em solos na Índia após incorporação de leguminosas.

Tabela 5. Influência de práticas culturais na desidrogenase e sacarase em solos da rizosfera de canaviais cultivados na Usina Santa Tereza (Goiana, PE) e Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da UFRPE (Carpina, PE)

Tratamentos	Desidrogenase ($\mu\text{g TTF g solo seco}$)	Sacarase ($\mu\text{g glicose g solo seco/dia}$)
Usina Santa Tereza (Goiana, PE)		
Plantio de cana	7,72a	3,18b
Carbofurán	6,78a	2,89b
Terbufós	6,76a	2,82b
Pousio	6,46a	4,03a
Mucuna-Crotalária	6,41a	2,87b
Crotalária-Mucuna	8,60a	3,58b
C.V (%)	4,49	23,67
Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (Carpina-PE)		
Plantio de cana	5,52bc	2,84ab
Carbofurán	4,72c	1,59b
Terbufós	4,20c	3,69ab
Pousio	8,25ab	5,43a
Mucuna-Crotalária	10,00a	1,63b
Crotalária-Mucuna	9,07ab	2,61ab
C.V (%)	9,83	16,96

Médias seguidas da mesma letra, na coluna e para cada local, não diferem pelo teste LSD ($p < 0,05$)

4.5 ESTUDOS DE CORRELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

A análise dos coeficientes de correlação entre propriedades químicas e biológicas do solo, independentemente da prática cultural utilizada, mostrou valores (r) abaixo de 0,59 e em geral negativos (Tabela 6).

Em Goiana, os glomerosporos foram positivamente correlacionados com P. Considerando as categorias de Miller (1994) a correlação entre glomerosporos e P foi apenas moderada. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva Júnior & Cardoso (2006) que afirmam que embora altos teores de P reduzam a associação micorrízica, doses intermediárias podem exercer efeito positivo. No entanto, Pande & Tarafdar (2004) registraram correlação negativa entre a população de FMA e P e afirmam que o suprimento de P em solos agrícolas limita a transferência de C para as raízes reduzindo a disponibilidade desse elemento para os FMA. A correlação entre P e glomerosporos parece depender das características físicas, químicas e biológicas do solo e condição nutricional da planta.

Tabela 6. Estimativas dos coeficientes de correlação entre propriedades químicas e biológicas de solos cultivados com cana-de-açúcar, independentemente das práticas culturais.

Propriedades Químicas e Biológicas do solo	Coefficientes de correlação (r)*	Grau de correlação
Usina Santa Tereza (Goiana-PE)		
Matéria orgânica x Biomassa	- 0,45	Moderado
Carbono x Biomassa	- 0,44	Moderado
Fósforo x Glomerosporos	0,46	Moderado
Potássio x Glomalina	0,52	Substancial
Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (Carpina-PE)		
pH x qCO ₂	-0,45	Moderado
Sódio x qCO ₂	-0,54	Substancial
Sódio x CO ₂	-0,49	Moderado
Magnésio x Sacarase	0,41	Moderado
Potássio x qCO ₂	-0,49	Moderado
Potássio x CO ₂	-0,45	Moderado
Potássio x Glomerosporos	-0,44	Moderado
Carbono x Glomerosporos	-0,41	Moderado
Matéria orgânica x Glomerosporos	-0,40	Moderado
Ferro x Glomerosporos	0,47	Moderado
Cálcio x Glomalina	0,57	Substancial

CO₂ = respiração basal; qCO₂ = quociente metabólico; pH= potencial hidrogênico ;* = p<0,05.

4.6 DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

Maior perfilhamento da cana-de-açúcar ocorreu em ambas as áreas na rotação de culturas em relação ao pousio (Tabela 7). Provavelmente a matéria orgânica oriunda da incorporação das leguminosas pode ter estimulado o perfilhamento da cana-de-açúcar. Aumentos no número de perfilhos, altura e peso dos colmos da cana-de-açúcar foram também verificados por Alleoni & Beauclair (1995) com a prática de rotação de culturas com amendoim.

Segundo Pankhurst et al. (2003) práticas de rotação de culturas contribuem para a melhoria da fertilidade dos solos em canaviais, minimizando os impactos causados à produção pelos fitopatógenos, aumentando, assim, o crescimento e o desenvolvimento da planta. Os valores do perfilhamento ora registrados foram 40% maiores do que aqueles reportados por Lima et al. (2006) em canavial adubado com N, P, K. Quanto ao diâmetro e comprimento do colmo foram verificadas variações entre os tratamentos e locais dos experimentos.

Tabela 7. Influência de práticas culturais no número de perfilhos, crescimento e produção da cana-de-açúcar variedade SP 79-1011 cultivada na Usina Santa Tereza, Goiana (PE) e Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da UFRPE (Carpina, PE).

Tratamentos	Nº de Perfilhos	Diâmetro do colmo (cm)	Comprimento do colmo (cm)	Produção/ parcela (kg)	Produtividade (t/ha)	Incremento em relação ao pousio (%)
Usina Santa Tereza (Goiana, PE)						
Pousio	83b	2,35a	2,00a	300b	67b	-
Mucuna-Crotalária	84b	2,33a	2,05a	342a	76a	14,32
Crotalária-Mucuna	93a	2,30a	1,95a	346a	77a	15,67
C.V (%)	4,80	9,20	7,95	8,46	8,46	
Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (Carpina, PE)						
Pousio	77b	2,43ab	2,46a	309a	69a	-
Mucuna-Crotalária	81ab	2,30b	2,36b	378a	84a	21,73
Crotalária-Mucuna	85a	2,56a	2,45a	342a	76a	10,14
C.V (%)	7,23	7,70	8,83	28,26	28,26	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna e para cada local, não diferem pelo teste LSD ($p < 0,05$)

Pelos resultados verifica-se que a rotação de cultura proporcionou aumentos na produtividade na ordem de 21,73 e 10,14% em Carpina e 15,77 e 14,32% em Goiana (Tabela 7). Embora os resultados de Carpina tenham indicado aumentos satisfatórios, o elevado coeficiente de variação (28,26%) não permitiu a configuração de diferenças

estatísticas significativas entre os tratamentos, fato que não ocorreu em Goiana. Segundo Lima et al. (2006) a variedade de cana-de-açúcar utilizada, SP 79-1011, apresenta produção e teor de sacarose altos, brotação de socas e perfilhamento considerados bons, baixa exigência quanto ao tipo e fertilidade do solo, o que pode ter contribuído para as respostas aos tratamentos com rotação de culturas.

A incorporação de crotalária e mucuna incrementa a atividade microbiana, e contribui para maior biodiversidade, conduzindo os solos agrícolas ao equilíbrio natural e mantendo a integridade enzimática do solo (Espíndola et al. 1997b), além de proporcionar maior produção e perfilhamento da cultura.

Os valores registrados nesse trabalho foram superiores aos encontrados por Duarte Júnior & Coelho (2008) em sistemas de plantio direto de cana-de-açúcar. A rotação de cultura com crotalária ou mucuna-preta também promoveu aumentos quando comparados ao tratamento de pousio, na produção de tubérculos de batata-doce (69 a 117%) e de algodão (31% a 15,35%) (Carvalho et al. 2004).

5 CONCLUSÕES

- A rotação de culturas utilizando mucuna-crotalária e seqüência inversa, com incorporação, contribui para a esporulação de FMA e aumento do número total de propágulos infectivos nativos presentes na rizosfera da cana-de-açúcar (variedade SP79-1011);
- O uso dos nematicidas carbofurán e terbufós, na dose recomendada (60 kg i.a. ha⁻¹), reduz o número de glomerosporos na rizosfera de cana-de-açúcar mesmo depois de dois anos da aplicação;
- Práticas culturais como o pousio e a rotação de culturas com crotalária e mucuna-preta podem contribuir para o aumento da diversidade enquanto a aplicação dos nematicidas carbofurán e terbufós e o plantio de cana-de-açúcar sem a prévia rotação de culturas ou pousio podem reduzir a diversidade de FMA associada à cana-de-açúcar;
- A rizosfera de cana-de-açúcar em Carpina e Goiana (Pernambuco) apresenta alta diversidade de FMA com registro de 21 táxons;
- Quatorze dos táxons identificados são considerados o primeiro registro na rizosfera de cana-de-açúcar, sendo eles: *Acaulospora excavata*, *A. foveata*, *A. longula*, *A. mellea*, *A. morrowiae*, *A. rugosa*, *A. scrobiculata*, *A. spinosa*, *A. tuberculata*, *A. undulata*, *Cetraspora pellucida*, *Fuscutata savannicola*, *Racocetra gregaria* e *G. brohultii*;
- *Acaulospora* é o gênero predominante com dez táxons, seguido de *Glomus* com quatro, na rizosfera da cana-de-açúcar (variedade SP79-1011) em Goiana e Carpina;
- Os nematicidas carbofurán e terbufós não interferem na atividade microbiana dois anos após sua aplicação, nas condições estudadas em Carpina.
- Em Goiana, aplicação do terbufús após dois anos, afeta a biomassa microbiana e aumenta o valor do quociente metabólico.
- A rotação de cultura com as leguminosas *Crotalaria juncea* e *Stizolobium aterrimum* aumenta a produtividade da cana-de-açúcar variedade SP79-1011 em Goiana e Carpina.

- Em Carpina, a rotação de culturas independentemente da seqüência estimula a atividade microbiana, no entanto, a seqüência mucuna-crotalária é mais eficiente na utilização do carbono microbiano em relação à seqüência inversa.
- Em Goiana, todos os indicadores biológicos, com exceção da desidrogenase, não responderam ao tratamento de rotação de cultura.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G.C.G. 2007. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. 2007. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais, 1 ed.
- ALLEONI, L.R.F.; BEAUCLAIR, E.G.F. 1995. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. *Scientia Agricola* 53: 409-415.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. 1985. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biology and Fertility of Soils* 1: 81-89.
- ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.; MONTEIRO, R.T.R. 2008. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. *European Journal of Soil Biology* 44:225-230.
- ASSIS JÚNIOR, S.L.; ZANUNCIO, L.C.; KASUYA, M.C.M.; COUTO, L.; MELIDO, R.C.N. 2003. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. *Revista Árvore* 27: 35-41.
- BAI, C.; HE, X.; TAN, H.; SHAN, B.; ZHAO, L. 2009. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi, glomalina and soil enzymes under the canopy of *Astragalus adsurgens* Pall. In the Mu Us sandland, China. *Soil Biology & Biochemistry* 41:941-947.
- BARBOSA, L.C.A.; BARCELOS, F.F.; DEMUNER, A.J.; SANTOS, M.A. 1999. Chemical constituents from chemical constituents from *Mucuna aterrima* with activity against *Meloidogyne incognita* and *Heterodera glycines*. *Nematropica* 29: 81-88.

BAREA, J.M.; TORO, M.; OROZCO, M.O.; CAMPOS, E.; AZCÓN, R. 2002. The application of isotopic (^{32}P and ^{15}N) dilution techniques to evaluate the interactive effect of phosphate-solubilizing rhizobacteria, mycorrhizal fungi and *Rhizobium* to improve the agronomic efficiency of rock phosphate for legume crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 63: 35-42.

BARELA, J.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. 2006. Seletividade de herbicidas aplicados em pré emergência da cultura da cana-de-açúcar (RB 867515) tratada com nematicidas. *Planta Daninha* 24: 371-378.

BARRETO, R.A.; HUGHES, J.B.; SOUSA, C.S.; SILVA, V.D.A.; SILVA, A.R.; VELOZO, E.S.; BATATINHA, M.J.M.; COSTA, M.F.D.; EL-BACHÁ, R.S.; COSTA, S.L. 2006. O alcalóide monocrotalina, extraído de *Crotalaria retusa*, altera a expressão de GFAP, a morfologia e o crescimento de culturas primárias de astrócitos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 7: 112-127.

BARROS, A.C.B.; MOURA, R.M.; PEDROSA, E.M.R.; MACEDO, M.E.A.; SILVA, I.P. 2002. Efeito da aplicação de terbufos nas populações de três fitonematóides ectoparasitos em cana-de-açúcar. *Fitopatologia Brasileira* 27: 309-311.

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

BASTIDA, F.; MORENO, J.L.; HERNÁNDEZ, T. & GARCIA, C. 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology & Biochemistry* 38:3463-3473.

BENDING, G.D.; TURNER, M.K.; RAYNS, F.; MARX, M.C.; WOOD, M. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 1785-1792.

BENINTENDE, S.M.; BENINTENDE, M.C.; STERREN, M.A.; BATTISTA, J.J.D. 2008. Soil microbiological indicators of soil quality in four Rice rotations systems. *Ecological Indicators* 8:704-708.

BERTIN, C.; YANG, X.; WESTON, L.A. 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant and Soil* 256:67-83.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. 2004. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 155-163.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D. 2003. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. *Bragantia* 62: 417-428.

BOWEN, W.T. 1987 Estimating the nitrogen contribution of legumes to succeeding maize on an oxisol in Brazil. Tese – Cornell University, Ithaca, 178pp.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J.L.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean ultisol. *Soil & Tillage Research* 88:253-261.

BRADFORD, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72:248-254.

BROWER, J.E.; ZAR, H. 1984. Community similarity. In: BROWER, J.E.; ZAR, J.H. 1984 (eds). *Field & Laboratory for General Ecology*. Win C. Brown Publishers. Dubuque, Iowa, p. 161-164.

BUZINARO, T.N.; NAHAS, E. 2006. Qualidade microbiológica do solo sob citrus em comparação com outros ecossistemas e sob adubação verde. Dissertação - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias (UNESP), Jaboticabal - São Paulo.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; BERBARA, R.L.L.; TRUFEM, S.B.; GRANHA, J.R.D.; MONTEIRO, A.B. 2003. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas revegetadas após mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38:1409-1418.

CARDOSO, J.B.N.; NOGUEIRA, M.A.; FERRAZ, S.M.G. 2007. Biological N₂ fixation and mineral N in common bean-maize intercropping or sole cropping in southeastern Brazil. *Experimental Agriculture* 43: 319-330.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. 2008. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. *Bragantia* 67:455-462.

CARENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R.; SILVA, E.S. 2007. The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum and maize. *Acta Botânica Brasilica* 21:723-730.

CARVALHO, M.A.C.; ATHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P.; ALVES, M.C.; SÁ, M.E. 2004. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 1205-1211.

CASIDA, L.E.; KLEIN, D.A.; SANTORO, T. 1964. Soil dehydrogenase. *Soil Science* 98: 371-376.

CASTRO, C.M.; ALVES, B.J.R.; ALMEIDA, D.L.; RIBEIRO, R.L.D. 2004. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 779-785.

CASTRO, O.M.; PRADO, H. 1993. Avaliação da atividade de microrganismos do solo em diferentes sistemas de manejo de soja. *Scientia Agricola* 50: 212-219.

CAVALCANTI, M.A.Q.; OLIVEIRA, L.G.; FERNANDES, M.J.; LIMA, D.M. 2006. Fungos filamentosos isolados do solo em municípios na região Xingó, Brasil. *Acta Botânica Brasílica* 20: 831-837.

CHAVES, A.; PEDROSA, E.M.R.; MOURA, R.M. 2003. Efeitos de terbufós sobre fitonematóides ectoparasitos de cana-de-açúcar. *Fitopatologia Brasileira* 28: 195-198.

CHRISTENSEN, M. 1989. A view of fungal ecology. *Mycologia* 81:1-19.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. 2005. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 777-788.

COCKSON, W.R.; MURPHY, D.V.; MARGARET, R.M. Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. *Soil Biology & Biochemistry* 40:763-777.

CUENCA, M.A.G.; MANDARINO, D.C. 2007. Mudança no âmbito da atividade canavieira nos principais municípios produtores do estado de Pernambuco. Aracajú: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros (Documentos, 117).

CUNHA, L.O.; FONTES, M.A.L.; OLIVEIRA, A.D.; FILHO, A.T.O. 2003. Análise multivariada da vegetação como ferramenta para avaliar a reabilitação de dunas litorâneas mineradas em Mataraca, Paraíba, Brasil. *Revista Árvore* 27:503-515.

DAS, P.; PAL, R.; CHOWDHURY, A. 2007. Effect of novaluron on microbial biomass, respiration, and fluorescein diacetate-hydrolyzing activity in tropical soils. *Biol Fertil Soils* 44:387-391.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M.S. 2005. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. Processos biológicos no sistema solo-planta - Ferramentas para uma agricultura sustentável. Embrapa, Brasília Distrito Federal.

DESAEGER, J.; RAO, M.R. 2003. Significance of lesion and spiral nematodes in crotalaria-maize rotation in western Kenya. *Nematropica* 33: 27-39.

DIJKSTRA, F.A.; HOBBIE, S.E.; REICH, P.B.; KNOPS, J.M.H. 2005. Divergent effects of elevated CO₂, N fertilization, and plant diversity on soil C and N dynamics in a grassland field experiment. *Plant and Soil* 272: 41-52.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; GARCIA, V. 2002. Efeito da época de aplicação de nematicidas em soqueira de cana-de-açúcar. *Nematologia Brasileira* 26:177-180.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; GIL, M.A.; GONÇALVES, R.F. 2006. Interação entre nematicidas e herbicidas aplicados no plantio da cana-de-açúcar. *Planta Daninha* 24: 557-562.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; PIVETTA, J.P.; FRACASSO, J.V. 2008. Influência da época de aplicação de nematicidas sobre as populações de nematóides e a produtividade da cana-de-açúcar. *Bragantia* 67: 179-190.

DINESH, R.; SURYANARAYANA, M.A.; CHAUDHURI, S.G.; SHEEJA, T.E. 2004. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. *Soil & Tillage Research* 77:69-77.

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

DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO, F.C. 2008. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12:576-583.

DUARTE, F.M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.; GRAUPE, F.A.; BRITZKE, D. 2007. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solos de várzea com diferentes níveis de umidade. *Ciência Rural* 37: 705-711.

EISENHAUER, N.; KLIER, M.; PARTSCH, S.; SABAIS, A.C.W. 2009. No interactive effects of pesticides and plant diversity on soil microbial biomass and respiration. *Applied Soil ecology* 42:31-36.

EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro. 212p.

ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M. 1997a. Benefícios da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produtividade da batata doce. EMBRAPA n.14 6 pp.

ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. 1997b. Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável. Embrapa – Agrobiologia 20pp.

FELDMANN F.; IDCZAK, E. 1994. Inoculum production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. Pp. 799-817 In : NORRIS, J. R.; READ, D. J.; VARNA, A. K. (Eds). *Techniques for mycorrhizal research. Methods in Microbiology*, Academic Press, London.

FERRAZ, S.; VALLE, L. A. C.1997. Controle de fitonematóides por plantas antagonistas - Caderno de Ensino n. 7. 1. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária - Universidade Federal de Viçosa v.1. 73 p.

FOCCHI, S.S.; SOGLIO, F.K.D.; CARRENHO, R.; SOUZA, P.V.D.; LOVATO, P.E. 2004. Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39:469-476.

FORTES NETO, P.; FERNANDES, S.A.P.; JAHNEL, M.C. 2007. Microbiota do solo como indicadora de poluição do solo e do ambiente. Pp. 259-274. In:

SILVEIRA, A.P.D. & FREITAS, S.S. 2007. Microbiologia do solo e qualidade ambiental, Instituto Agronômico, Campinas, São Paulo.

FREITAS, A.D.S.; VIEIRA, C.L.; SANTOS, C.E.R.S.; STAMFORD, N.P.; LYRA, M.C.C.P. 2007. Caracterização de rizóbios isolados de Jacatupé em solo salino do estado de Pernambuco, Brasil. *Bragantia* Campinas 66: 497-504.

FRIEDEL, J.K.; MUNCH, J.C.; FISCHER, W.R. 1996. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biology & Biochemistry* 28: 479-488.

FROUZ, J.; NOVÁKOVÁ, A. 2005. Development of soil microbial properties in topsoil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to humus microstructure development. *Geoderma* 129: 54-64.

GARGANTINI, H.; ALVAREZ, R.; CATINI, R.A.; ROMANO-GALLO, J. 1958. Restauração do solo para a cultura de cana-de-açúcar. Instituto Agrônomo de Campinas 1-12 pp.

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

GERMANI, G.; PLENCHETTE, C. 2004. Potencial of *Crotalaria* species as Green manure crops for the management of pathogenic nematodes and beneficial mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 266:333-342.

GIANFREDA, L.; RAO, M.A.; PIOTROWSKA, A.; PALUMBO, G.; COLOMBO, C. 2005. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment* 341: 265-279.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J. 2005. Organic matter accumulation and fertilizer-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long-term sugarcane management experiment. *Biology and Fertility of Soils* 41: 249-256.

GRAYSTON, S.J.; DAWNSON, L.A.; TREONIS, A.M.; MURRAY, P.J.; ROSS, J.; REID, E.J.; MACDOUGALL, R. 2001. Impact of root herbivory by insect larvae on soil microbial communities. *European Journal of Soil Biology* 37:277-280.

GRISI, B.M. 1978. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciência e Cultura* 30: 82-88

GROSS, E.; CORDEIRO, L.; CAETANO, F.H. 2004. Nodulação e micorrização em *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* em solo de cerrado autoclavado e não autoclavado. *Revista Brasileira de Solo* 28: 95-101.

van der HEIJDEN, M.G.A.; BARDGETT, R.D.; VAN STRAALLEN, N.M. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *11*:296-310.

INOMOTO, M.M.; MOTTA, L.C.C.; BELUTI, D.B.; MACHADO, A.C.Z. 2006. Reação de seis adubos verdes a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*. *Nematologia Brasileira* 30: 39-44.

INMET, 2002. Disponível <http://www.agritempo.gov.br>.

Acessado em: 9 fev. 2009.

INVAM, 2001. Disponível

<http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification.htm>. Acessado em: 15 dez. 2007.

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

IYYEMPERUMAL, K.; ISRAEL, D.W.; SHI, W. 2007. Soil microbial biomass, activity and potencial nitrogen mineralization in a pasture: Impact of stock camping activity. *Soil Biology & Biochemistry* 39:149-157.

JENKINS, W. R. 1964. A rapid centrifugal-floatation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48:692.

KELTING, D.L.; BURGER, J.A.; EDWARDS, G.S. 1998. Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. *Soil Biology Biochemistry* 30: 961-968.

KLOEPPER, J.W.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; McINROY, J.A.; COLLINS, D.J. 1991. Analysis of populations and physiological characterization of microorganisms in rhizospheres of plants with antagonistic properties to phytopathogenic nematodes. *Plant and Soil* 136: 95-102.

KLOEPPER, J.W.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; McINROY, J.A.; YOUNG, R.W. 1992. Rhizosphere bacteria antagonistic to soybean cyst (*Heterodera glycines*) and root-knot (*Meloidogyne incognita*) nematodes: identification by fatty acid analysis and frequency of biological control activity. *Plant and Soil* 139: 75-84.

KOENNING, S.R.; OVERSTREET, C.; NOLING, J.W.; DONALD, P.A.; BECKER, J.O.; FORTNUM, B.A. 1999. Survey of crop losses in response to Phytoparasitic nematodes in the United States for 1994. Supplement of the *Journal of Nematology* 31: 587-618.

LANNA, A.C.; BASSINELLO, P.Z.; CHAVES, R.Q.; LOBO, V.L.S. 2003. Análise da situação da cultura do arroz de terras altas no meio Norte do Mato Grosso. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão

LIMA, S.A.A.; SILVA, I.F.S.; SANTIAGO, R.D.; SILVA NETO, L.F.; SOUZA, C.; CAVALCANTE, F.S. 2006. Influência da adubação mineral sobre três cultivares de cana-de-açúcar na microrregião de Guarariba na Paraíba. *Agropecuária Técnica* 27:92-99.

LIU, T.; WANG, L.; DUAN, Y.; WANG, X. 2008. Nematicidal activity of culture of *Beauveria bassiana* against *Meloidogyne hapla*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24: 113-118.

LOMBARDI-NETO, F.; DECHEN, S.C.F.; CONAGIN, A.; BERTONI, J. 2002. Rotação de culturas: Análise estatística de um experimento de longa duração em Campinas (SP). *Bragantia* 61: 127-141.

LONGO, R.M.; MELO, W.J. 2005. Atividade da urease em latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. 29: 645-650.

LOPES, E.S.; PERON, S.C.; PORTUGAL, E.P.; CAMARGO, O.A.; FREITAS, S.S. 1986. Atividade respiratória de solo tratado com vinhaça e herbicida. *Bragantia* 45: 205-210.

LUCAS, A.A.; SCHULER, C.A.B. 2007. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* 11: 607-614.

MAIA, S.F.; OLIVEIRA, A.C.S. 1999. Análise da produção da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco: Uma abordagem pelos custos dos recursos domésticos (Crd). *Revista Econômica do Nordeste* 30:468-482.

MAIA, L.C.; SILVEIRA, N.S.S.; CAVALCANTE, U.M.T. 2006. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and root pathogens. In: *Handbook of microbial biofertilizers*. ed. M.K. Rai. pp. 325-351.

MARTINS, P.F.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F. 1990. Conseqüências do cultivo e do pousio sobre a matéria orgânica do solo sob floresta natural na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica* 20:19-28.

MASTOS, R.E.; CHHONKAR, P.K.; SINGH, D.; PATRA, A.K. 2006. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term Field Trial on a subtropical inceptisol. *Soil Biology & Biochemistry* 38:1577-1582.

McSORLEY, R.; DICKSON, D.W.; BRITO, J.A.; HEWLETT, T.E.; FREDERICK, J.J. 1994. Effects of tropical rotation crops on *Meloidogyne arenaria* population densities and vegetables yields in microplots. *Journal of Nematology* 26:175-181.

MEHROTHRA, V.S. 2005. Mycorrhiza: Role and applications. New Dehli: Allied Publishers, Ltda.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. 2003. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27: 435-443.

MIJANGOS, I.; PÉREZ, R.; ALBIZU, I.; GARBISU, C. 2006. Effects fertilization and tillage on soil biological parameters. *Enzyme and Microbial Technology* 40:100-106.

MILLER, L.E. 1994. Correlations: description or inference? *Journal of Agricultural Education* 35:5-7.

MILLER, M.; DICK, R.P. 1995. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crops rotations. *Soil Biological Biochemistry* 27: 1161-1166.

MIRANDA, J.C.C.; VILELA, L.; MIRANDA, L.N. 2005. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40: 1005-1014.

MORTON, J.B.; KOSKE, R.E.; STÜRMER, S.L.; BENTIVENGA, S.P. 2004. Mutualistic arbuscular endomycorrhizal fungi. IN: MUELLER, G.M.; BILLS, G.F.; FOSTER, M.S. Biodiversity of fungi inventory and monitoring methods. Elsevier Academic Press. San Diego. pp. 317-336.

NOBRE, V.M.T.; RIET-CORREA, F.; FILHO, J.M.B.; DANTAS, A.F.M.; TABOSA, I.M.; VASCONCELOS, J.S. 2004. Intoxicação por *Crotalaria retusa* (Fabaceae) em equídeos no semi-árido da Paraíba. Pesquisa Veterinária Brasileira 24:132-143.

OLIVEIRA, F.S.; ROCHA, M.R.; REIS, A.J.S.; MACHADO, V.O.F.; SOARES, R.A.B. 2005. Efeitos de produtos químicos e naturais sobre a população de nematóides *Pratylenchus brachyurus* na cultura da cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Tropical 35: 171-178.

PANDE, M.; TARAFDAR, J.C. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in neem-based agroforestry systems in Rajasthan. Applied Soil Ecology 26:233-241.

PANKHURST, C.E.; BLAIR, B.L.; MAGAREY, R.C.; STIRLING, G.R.; GARSIDE, A.L. 2005. Effects of biocides and rotation breaks on soil organisms associated with the poor early grown of sugarcane in the continuous monoculture. Plant and Soil 268: 255-269.

PANKHURST, C.E.; MAGAREY, R.C.; STIRLING, G.R.; BLAIR, B.L.; BELL, M.J.; GARSIDE, A.L. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland Australia. Soil & Tillage Research 72: 125-137.

PEREIRA, F.A.R.; VELINI, E.D. 2003. Sistemas de cultivo no cerrado e dinâmica de populações de plantas daninhas. Planta Daninha 21: 355-363.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid

assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55:158-161.

PONTES, P.P.B.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLE, R.A.C. 2005. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safra de cana-de-açúcar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia. Anais... Goiânia: INPER, 2005. p. 217-224.

PORTAL ÚNICA. 2007. Agroindústria da cana-de-açúcar: Alta competitividade canavieira. Disponível em http://www.unica.com.br/pages/agroindustria_alta.asp. Consultado em fev. 2007.

RAMSEY, P.W.; RILLIG, M.C.; FERIS, K.P.; GORDON, N.S.; MOORE, J.N.; HOLBEN, W.E.; GANNON, J.E. 2005. Relationship between communities and processes; new insights from a field study of a contaminated ecosystem. Ecology Letters 8: 1201-1210.

REIS, M.R.; SILVA, A.A.; COSTA, M.D.; GUIMARÃES, A.A.; FERREIRA, E.A.; SANTOS, J.B.; CECON, P.R. 2008. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. Planta Daninha 26:323-331.

REIS, V.M.; PAULA, M.A.; DÖBEREINER, J. 1999. Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Actobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira 34: 1933-1941.

RICH, J.R.; RAHI, G.S. 1995. Suppression of *Meloidogyne javanica* and *M. incognita* on tomato with ground seed of castor, crotalaria, hairy indigo, and wheat. Nematropica 25: 159-164.

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.W.; MORRIS, S.; PAUL, E.A. 2003. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. Plant and Soil 253: 293-2999.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F.; TORN, M.S. 2001a. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil* 233:167-177.

RITZINGER, C.H.S.; McSORLEY, R. 1998. Effect Castor and velvetbean organic amendments on *Meloidogyne arenaria* in greenhouse experiments. Supplement to the *Journal of Nematology* 30: 624-631.

ROLDAN, A.; SALINAS-GARCIA, J.R; ALGUACIL, M.M.; CARAVACA, F. 2007. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil & Tillage Research* 93: 273-282.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. 2006. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41:1033-1044.

ROSSI, C.E.; LIMA, C.B. 2007. Controle alternativo de nematóides em cultura orgânica de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Agroecologia* 2: 1545-1548.

RUIZ, R.L. 1992. *Microbiologia Zootécnica*. São Paulo: Rocca Ltda.

SANTOS, C.E.R.S; FREITAS, A.D.S.; VIEIRA, I.M.M.B.; COLAÇO, W. 2008. Fixação simbiótica do N₂ em leguminosas tropicais. In: M.V.B. FIGUEIREDO; H.A. BURITY; N.P. STAMFORD; C.E.R.S. SANTOS. *Microorganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura*. Guaíba: Agrolivros. p.17-41.

SANTOS, H.P.; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J.C.; WOBETO, C. 1999. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 2175-2183.

SANTOS, J.B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; VIVIAN, R.; COSTA, M.D.; SILVA, A.F. 2005. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. *Planta Daninha* 23:683-691.

SANTOS, T.M.C.; MONTEIRO, R.T.R. 1994. Número de microrganismos e atividade da uréase na presença de aldicarbe e endosulfan no solo. *Scientia Agricola* 51:123-130.

SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, D.G. 2004. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociência* 10:333-338.

SCHENCK, N.C.; PEREZ, Y. 1990. Manual for identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications, Gainesville, Florida.

SCHINNER, F.; VON MERSE, W. 1990. Xylanase, CM-cellulase and invertase activity in soil: an improved method. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 511-515.

SEREIA, A.F.R.; ASMUS, G.L.; FABRÍCIO, A.C. 2007. Influência de diferentes sistemas de produção sobre a população de *Rotylenchus reniformis* (Linford & Oliveira, 1940) no solo. *Nematologia Brasileira* 31:42-46.

SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn.

SILVA JÚNIOR, J.P.; CARDOSO, E.J.B.N. 2006. Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistemas agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 819-825.

SILVA, G.A.; MAIA, L.C.; SILVA, F.S.B.; LIMA, P.C.F. 2001. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 24:135-143.

SINDAÇÚCAR. 2007. <http://www.sindacucar.com.br/?acao=estatisticas>

SINGH, S.; KAPOOR, K.K. 1998. Effects of inoculation of phosphate-solubilizing microorganisms and an arbuscular mycorrhizal fungus on mungbean grown under natural soil conditions. *Mycorrhiza* 7: 249-253.

SMITH, S.E.; READ, D.J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego.

SOUCHIE, E.L.; ABBOUD, A.C.S. 2007. Solubilização de fosfato por microrganismos rizosféricos de genótipos de guandu cultivados em diferentes classes de solo. *Ciências Agrárias* 28: 11-18.

SOUZA, F.A. & SILVA, E.M. 1996. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. UFLA/DCS, DCF, Lavras, p.255-290.

STETINA, S.R.; YOUNG, L.D.; PETTIGREW, W.T.; BRUNS, H.A. 2007. Effect of corn-cotton rotations on reniform nematode populations and crop yield. *Nematropica* 37: 237-248.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. 2008. Biochemical properties of soils under crop rotation. *Applied Soil Ecology* 39:133-143.

TRESEDER, K.K. 2008. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. *Ecology Letters* 11:1111-1120.

TRUFEM, S. F. B. 1990. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares de mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 4:31-45.

VALARINI, P.J.; ALVEREZ, M.C.D.; GASCÓ, J.M.; GUERRERO, F.; TOKESHI, H. 2003. Assessment of soil properties by organic matter and microorganism incorporation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27: 519-525.

VARGAS-AYALA, R.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. 2001. Bioremediative management of soybean nematode population densities in crop rotations with velvetbean, cowpea, and winter crops. *Nematropica* 31: 37-46.

VENZKE FILHO, S. P. 1999. Microbiota e sua atividade em uma cronosequência sob sistema de plantio direto. Piracicaba, 65 f. Dissertação (Mestrado Solos)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

WANG, K.H.; McSORLEY, R.; GALLAHER, R.N. 2003. Effect of *Crotalaria juncea* amendment on nematode communities in soil with different agricultural histories. *Journal of Nematology* 35: 294-301.

WANG, K.H.; RIGGS, R.D.; CRIPPEN, D. 2004. Suppression of *Rotylenchus reniformis* on cotton by the nematophagous fungus ARF. *Journal of Nematology* 36:186-191.

WANG, X.L.; SUN, G.J.; JIA, Y.; LI, F.M.; XU, J.Z. 2008. Crop yield and soil water restoration on 9-year-old pasture in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultura Water Management* 95:190-198.

WANG, Y.L.Q.; HANDBOO, Z.; KLASSEN, W. 2007. Influence of cover crops on populations of soil nematodes. *Nematropica* 37: 79-92.

WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F. 2006. Comparison of efficacy of three extractants to solubilize glomalin on hyphae and in soil. *Chemosphere* 64: 1219-1224.

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

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. 2006. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30:247-258.