



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
RURAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB MANEJO
CONVENCIONAL E ORGÂNICO**

DAIANE ZOREL

ARARAS
2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
RURAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB MANEJO
CONVENCIONAL E ORGÂNICO**

DAIANE ZOREL

ORIENTADOR: PROF^a. Dr^a. SANDRA REGINA CECCATO ANTONINI
CO-ORIENTADOR: PROF^a. Dr^a. SILVANA PERISSATTO MENEZHIN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL.

ARARAS
2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

Z88aq

Zorel, Daiane.

Atributos químicos e microbiológicos de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejo convencional e orgânico / Daiane Zorel. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

74 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Solos. 2. Solos - fertilidade. 3. Solos - qualidade. 4. Biomassa microbiana. 5. Respiração. 6. Quociente microbiano. I. Título.

CDD: 631.4 (20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DE

DAIANE ZOREL

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS, *EM 25 DE OUTUBRO DE 2011.*

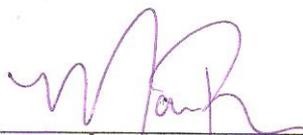
BANCA EXAMINADORA:



PROFA. DRA. SILVANA PERISSATO MENEGHIN

CO-ORIENTADORA

DBV/UFSCar



PROFA. DRA. MÁRCIA MARIA ROSA MAGRI

UFSCar/ARARAS



PROFA. DRA. REGINA TERESA ROSIM MONTEIRO

CENA/USP

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais Neide e Jorge, por todo amor, apoio e auxílio, por estarem sempre presentes ao meu lado.

OFERECIMENTO

Ao meu namorado Jean, por todo incentivo, compreensão, ajuda, amizade e amor.

À Profa. Dra. Sandra Regina Ceccato Antonini, pela confiança e exemplo profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e pelas oportunidades dadas ao longo dela.

À Profa. Dra. Sandra Regina Ceccato Antonini, pela oportunidade, orientação, ensinamentos, confiança e profissionalismo.

À co-orientadora Profa. Dra. Silvana Perissatto Meneghin, pelo aprendizado, paciência e incentivo.

À Profa. Dra. Márcia Maria Rosa Magri, pela amizade e ajuda.

Aos docentes do PPGADR, pelos ensinamentos transmitidos durante as disciplinas.

Ao Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Margarido, pela confiança.

Ao Dr. Hélio José Castilho, pela compreensão e ajuda na análise estatística.

Aos amigos João Paulo Apolari e Ricardo Coeli Simões Coelho pela amizade e auxílio durante as coletas.

À 4ª. Turma do Mestrado do PPGADR-UFSCar, pelas experiências e aprendizado.

Aos técnicos e todos os amigos do LAMAM-UFSCar, pelo companheirismo e apoio.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho,

Meu muito obrigado!

*“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada,
Caminhando e semeando, no fim terás o que colher.”*

Cora Coralina

SUMÁRIO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE TABELAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	04
2.1 A cana-de-açúcar.....	04
2.2 Agricultura orgânica.....	05
2.3 Qualidade do solo.....	08
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Caracterização da área de estudo.....	15
3.2 Delineamento experimental.....	15
3.3 Descrição dos tratamentos.....	17
3.4 Dados metereológicos.....	19
3.5 Amostragem de solo para análise química.....	19
3.6 Amostragem de solo para análise microbiológica.....	20
3.7 Quantificação do número de unidades formadoras de colônias de bactérias e fungos.....	21
3.8 Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM).....	22
3.9 Respiração basal (RB).....	24
3.10 Quociente metabólico (qCO ₂).....	25
3.11 Análise estatística.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 Atributos químicos.....	26
4.2 Atributos microbiológicos.....	43
4.2.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM).....	43
4.2.2 Respiração basal (RB).....	45
4.2.3 Quociente metabólico (qCO ₂).....	49
4.2.4 Contagem de microrganismos.....	49
4.3 Atributos químicos e microbiológicos como indicadores da	

qualidade do solo em sistemas orgânicos e convencionais cultivados com cana-de-açúcar.....	53
5 CONCLUSÕES.....	57
6 LITERATURA CITADA.....	58
APÊNDICE.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Foto da área antes da implantação do experimento.....	16
Figura 2. Foto da área durante a etapa de adubação.....	16
Figura 3. Croqui da área de estudo. Tratamentos: <i>TA</i> - Testemunha Absoluta; <i>SOCO</i> - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; <i>SOCA</i> - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; <i>SC</i> - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; <i>SCCO</i> - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; <i>SCCA</i> - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. A,B,C e D: parcelas.....	17
Figura 4. Matéria orgânica (%) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. <i>TA</i> - Testemunha Absoluta; <i>SOCO</i> - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; <i>SOCA</i> - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; <i>SC</i> - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; <i>SCCO</i> - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; <i>SCCA</i> - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.....	27
Figura 5. pH do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. <i>TA</i> - Testemunha Absoluta; <i>SOCO</i> - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; <i>SOCA</i> - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; <i>SC</i> - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; <i>SCCO</i> - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; <i>SCCA</i> - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.....	29
Figura 6. K (mmol/dm ³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. <i>TA</i> - Testemunha Absoluta; <i>SOCO</i> - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; <i>SOCA</i> - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; <i>SC</i> - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; <i>SCCO</i> - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; <i>SCCA</i> - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.....	31
Figura 7. Ca (mmol/dm ³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob	

manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. *TA* - Testemunha Absoluta; *SOCO* - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; *SOCA* - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; *SC* - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; *SCCO* - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; *SCCA* - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 32

Figura 8. Mg (mmol/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. *TA* - Testemunha Absoluta; *SOCO* - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; *SOCA* - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; *SC* - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; *SCCO* - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; *SCCA* - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 34

Figura 9. H+Al (mmol/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. *TA* - Testemunha Absoluta; *SOCO* - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; *SOCA* - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; *SC* - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; *SCCO* - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; *SCCA* - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 36

Figura 10. Al (mmol/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. *TA* - Testemunha Absoluta; *SOCO* - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; *SOCA* - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; *SC* - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; *SCCO* - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; *SCCA* - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 37

- Figura 11.** SB (mmol/dm^3) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 39
- Figura 12.** CTC (mmol/dm^3) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 40
- Figura 13.** V (%) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta. TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância..... 41
- Figura 14. A.** Termopluviograma com base em dados de precipitação (—■—) e temperatura do ar (—◆—) obtidos no posto meteorológico localizado no Centro de Ciências Agrárias – UFSCar – *Campus* de Araras. Balanço hídrico, pelo método de Thornthwaite-Mather, para 100 mm de capacidade de armazenamento, no período de Janeiro a Dezembro/2009 (B) e de Novembro/2009 a Outubro/2010 (C)..... 45

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Algumas diferenças entre agricultura orgânica e convencional (PENTEADO, 2000).....	07
Tabela 2. Composição dos produtos Visafértil® utilizados nos experimentos.....	19
Tabela 3. Composição do meio Ágar nutriente.....	21
Tabela 4. Composição do meio de Martin.....	22
Tabela 5. Carbono da biomassa microbiana – CBM ($\mu\text{g C/g}$ solo) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.....	43
Tabela 6. Respiração basal - RB ($\mu\text{g CO}_2/\text{g solo/dia}$) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.....	46
Tabela 7. Quociente metabólico – $q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g C-CO}_2/\mu\text{g CBM/hora}$) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.....	49
Tabela 8. Número de fungos $\times 10^3$ (UFC/g) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.....	51
Tabela 9. Número de bactérias $\times 10^5$ (UFC/g) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.....	53

ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB MANEJO CONVENCIONAL E ORGÂNICO

ORIENTADOR: Profa. Dra. Sandra Regina Ceccato Antonini

CO-ORIENTADOR: Profa. Dra. Silvana Perissatto Meneghin

RESUMO

A identificação de indicadores de qualidade de solo que demonstrem as alterações ocorridas em áreas agrícolas é importante para determinar a sustentabilidade do sistema de cultivo. A biomassa e a atividade microbiana do solo têm sido apontadas como importantes indicadores de qualidade do solo, especialmente quando se avalia o efeito de diferentes sistemas de manejo em agroecossistemas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de manejo (orgânico e convencional) da cana-de-açúcar sobre a qualidade do solo, analisando-se os atributos químicos como matéria orgânica, pH, acidez potencial, alumínio, magnésio, cálcio, potássio, capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), porcentagem por saturação de bases, (V %); e microbiológicos como número de bactérias e fungos, carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB) e quociente metabólico (qCO_2). As análises de solo foram realizadas no período compreendido entre Maio/2009 a Setembro/2010. Entre os parâmetros químicos que mais mostraram as alterações no solo provocadas pelo manejo estão o pH, teor de magnésio, acidez potencial, SB e V%. Valores mais elevados obtidos com estes dois últimos parâmetros nos sistemas orgânicos com adição de composto e calcário (SOCA) ou composto e corretivo (SOCO), especialmente, indicam fertilidade do solo. Não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto ao CBM provavelmente por ser área recém implantada. Houve influência da época de amostragem, observando-se valores mais altos na época de maior pluviosidade. Valores superiores de RB foram detectados nos sistemas orgânicos, especialmente em Maio e Agosto/2009, coincidente com períodos de maior pluviosidade e temperatura. Embora não tenha sido observada diferença significativa, os maiores valores de qCO_2 foram verificados no sistema convencional. Em termos de contagem de fungos e bactérias, a biota microbiana do solo pareceu responder mais ao clima/rizosfera que aos tratamentos envolvendo os sistemas orgânico e convencional. Dentre os parâmetros estudados e no período de tempo analisado, a respiração basal foi o parâmetro mais efetivo para detectar mudanças que ocorreram no solo devido ao sistema de manejo, mostrando que o sistema orgânico alterou a qualidade do solo, refletindo na atividade microbiana.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, qualidade do solo, atributos químicos, biomassa microbiana, respiração, quociente metabólico

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL CULTIVATED WITH SUGAR CANE UNDER CONVENTIONAL AND ORGANIC MANagements

ADVISER: Prof Dr Sandra Regina Ceccato Antonini

CO-ADVISER: Prof Dr Silvana Perissatto Meneghin

ABSTRACT

The identification of soil quality indicators that demonstrate the alterations occurred in areas under organic management is important to determine the sustainability of this kind of cultivation. The soil microbial biomass and activity have been considered as important indicators of soil quality, especially when different management systems are employed in agroecosystems. In this context, the aim of this work was to evaluate management systems (organic and conventional) of the sugar cane over the soil quality, analyzing the chemical attributes as organic matter, pH, potential acidity, aluminium, magnesium, calcium, potassium, cation-exchange capacity, (CEC), sum of bases (SB), and percent base saturation (%BS), as well as the microbiological attributes as number of fungi and bacteria, microbial biomass carbon (MBC), basal respiration (BR) and metabolic quotient (MQ). The soil analyses were taken in the period comprised between May/2009 and September/2010. Among the chemical parameters that most showed the alterations in soil caused by the management are pH, magnesium concentration, potential acidity, SB and %BS. Higher values obtained with these two last parameters in the organic systems with addition of compost and limestone (SOCA) or compost and corrective, especially, indicate soil fertility. There was no significant difference among the treatments concerning MBC probably because it is an area where only recently the experiments were established. An influence of the sampling period was observed, with high values in the higher rainfall period. Higher values of BR were detected in the organic systems, especially in May and August/2009, which was coincident with the higher rainfall period and temperature. Although no significant difference was verified, the higher values of MQ were verified in the conventional system. Concerning the number of fungi and bacteria, the microbial community seemed to respond better to the climate/rhizosphere than the treatments involving the different management systems. Among the parameters studied, the BR was the most effective parameter to detect changes that occur in the soil due to the management system, showing that the organic system altered the soil quality, which reflected in the microbial activity.

Key-words: Soil fertility, soil quality, chemical attributes, microbial biomass, respiration, metabolic quotient

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, grande parte da atividade agrícola é dedicada à monocultura, baseada nos modelos de desenvolvimento agrícola difundidos na década de 70 e predominantes na década de 80. Caracteriza-se pela utilização de sistemas de produção intensivos e produtividade máxima por meio de implementos agrícolas e insumos sintéticos.

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes no Brasil atualmente, com previsão de moagem de 588,915 milhões de toneladas para a safra de 2011/2012. A área colhida está estimada em 8.434,3mil hectares, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor com área total de 4.436,53 mil hectares (CONAB, 2011). Sua maior produção é dependente de grandes quantidades de fertilizantes sintéticos e pesticidas, baseados nos princípios da revolução verde. Em contraproposta a essa visão triunfalista, existem produtores preocupados com o meio ambiente que já utilizam práticas orgânicas, enfatizando a aplicação de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, processos biológicos para manejo de pragas e outras práticas conservacionistas, buscando a melhoria do agroecossistema como um todo e consequentemente a qualidade do solo.

A preocupação com o meio ambiente vem há tempos procurando estabelecer estilos de uma agricultura menos agressiva, capaz de proteger os recursos naturais e que sejam duráveis no tempo, fugindo do estilo convencional de agricultura (CAPORAL; COSTABEBER, 2004). A importância do manejo do solo e de sua cobertura vegetal também reflete em suas características físicas, químicas e biológicas. Manejos feitos de forma inadequada podem levar à degradação do solo, e conseqüentemente a perda da qualidade e baixa produtividade. Este é um apelo emergente para a atividade agrícola em busca de um manejo adequado, capaz de utilizar recursos naturais de forma mais conservacionista, preocupado com a sustentabilidade ecológica e econômica e a proteção ao meio ambiente (BRASIL, 2003).

Nas últimas décadas, houve um aumento da preocupação com a qualidade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas diante da rápida degradação do solo. Indicadores biológicos tem sido freqüentemente utilizados para avaliar alterações na qualidade do solo pelo emprego de sistemas de plantio (D'ANDREA et al., 2002; ARAUJO; MELO, 2010).

O monitoramento do solo através de indicadores de qualidade é importante para avaliar diferentes tipos de manejos, detectando mudanças em seu estado físico causados pelo cultivo, ou químico causados pelos fertilizantes ou pesticidas. Os microrganismos têm grande potencial para serem utilizados como indicadores biológicos, pois além de estarem na base da cadeia trófica, são associados a diversos processos ecológicos do solo, respondendo rapidamente às alterações impostas ao ambiente (BUNEMANN; SCHWENKE; VAN ZWIETEN, 2006).

Os atributos microbiológicos podem ser avaliados através da diversidade de microrganismos existente no solo, sendo a biomassa microbiana do solo muito útil para obter informações sobre mudanças causadas por diferentes tipos de manejos. A biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, excluindo raízes e organismos maiores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ e é constituída principalmente por fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários e algas (DE-POLLI; GUERRA, 1999).

A biomassa microbiana desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento do solo, atuando na transformação de todos os materiais orgânicos, na ciclagem e reserva de nutrientes disponíveis para as plantas, correspondendo a 2-5% do carbono orgânico do solo, e atuando na formação e estabilização de agregados (DE-POLLI; GUERRA, 1999). Assim a biomassa microbiana do solo é considerada um bom indicador ambiental da qualidade do solo, pela interação entre vários processos e propriedades do solo, por ser de fácil determinação, precisa e exata em descrever uma função particular que expresse mudanças no ambiente (TÒTOLA; CHAER, 2002).

Avaliações de variáveis como liberação de CO₂ através da respiração basal, determinação do carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico, além de estudos das comunidades microbianas, estão entre os parâmetros microbiológicos mais empregados para verificar as alterações ocorridas no solo em virtude do emprego de diferentes sistemas de manejo.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos e químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de cultivo orgânico e convencional, durante um período de oito meses, procurando detectar quais atributos foram mais sensíveis para detectar as alterações ocorridas no solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar ocupa lugar de destaque na agricultura por sua importância econômica e social. Sua cultura é praticada desde 1500 a.C. na Índia e na China, sendo que registros com mais de 8000 anos indicam que seu país de origem é a Nova Guiné, onde sua existência era tida somente como planta silvestre e ornamental (JAMES, 2003).

No Brasil seu cultivo é uma das mais antigas atividades econômicas. Chegou logo após o descobrimento, ganhando importância econômica na metade do século XVI com a expansão dos engenhos nordestinos para os demais estados (CANABRAVA, 2005), adaptando-se muito bem no país devido ao solo e clima favoráveis, com períodos quentes e úmidos.

A temperatura pode ser um fator de maior significância para o desenvolvimento da cultura, sendo um fator primordial para formação dos perfilhos. A cana-de-açúcar precisa encontrar condições de temperatura e umidade adequadas para o seu desenvolvimento na fase vegetativa e, em seguida, certa restrição hídrica para repousar e enriquecer em sacarose para o corte (MAGALHÃES, 1987).

Os estádios fenológicos da cana-de-açúcar incluem a brotação, que começa de 7 a 10 dias e geralmente dura ao redor de 30-35 dias; perfilhamento, começando ao redor de 40 dias após o plantio e podendo durar até 120 dias; crescimento dos colmos que começa a partir de 120 dias depois do plantio e dura até 270 dias; e a fase de maturação, na qual acontece o acúmulo rápido de açúcar, e que dura ao redor de três meses começando 270 - 360 dias após o plantio (SUGARCANECROPS, 2010).

A área colhida destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.434,3 mil hectares de cana-de-açúcar, distribuída em todos os estados produtores. O Estado de São Paulo é o maior produtor com 52,6% (4.436,53 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 9,0% (759,21 mil hectares), Goiás com 7,97% (672,43 mil hectares), Paraná com 7,26% (612,25 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 5,7% (480,86 mil hectares), Alagoas com 5,39% (454,54 mil hectares), e Pernambuco com 3,85% (324,73 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, mas com bons índices de produtividade (CONAB, 2011).

Além do açúcar e do álcool para o mercado interno e externo, produz-se ainda cachaça e seus subprodutos, como vinhaça, bagaço e melaço. Estes são também de grande importância sócio-econômica, seja na geração de energia, ração animal, produção de papel e plásticos, fertilizantes, entre outros.

Na atualidade, tanto a comunidade civil quanto a científica tem se preocupado com as questões ambientais. Movimentos agrícolas sustentáveis, como a agricultura orgânica ou natural, propõem um sistema agrícola mais consciente, valorizando os recursos naturais ainda disponíveis. Com isso, o cultivo orgânico da cultura da cana-de-açúcar, fazendo uma atividade agrícola ambientalmente correta e economicamente viável, possibilitando maior eficiência energética, baseados na sustentabilidade, é uma perspectiva interessante (MACHADO; HABIB, 2009).

2.2 Agricultura orgânica

A agricultura orgânica na atualidade apresenta uma fusão entre sistemas denominados alternativos com bases agroecológicas (PENTEADO, 2000). As

correntes que formam a base da agricultura orgânica buscam em comum um sistema de produção sustentável, mediante o manejo e a proteção dos recursos naturais, sem a utilização de produtos químicos agressivos à saúde humana e ao meio ambiente, mantendo a diversidade biológica, a fertilidade e vida do solo, e o respeito e integridade dos agricultores (DAROLT, 2002)

O processo de produção da agricultura orgânica tem como orientação normativa a produção de alimentos em um sistema que seja ambientalmente equilibrado, economicamente viável e socialmente justo, tentando manter a conservação dos recursos naturais, garantindo a sustentabilidade do meio ambiente e melhorando o nível de produtividade, com o favorecimento da distribuição de renda e oferecimento de produtos mais saudáveis (ALTIERI, 2002).

A agricultura orgânica tem tido grande expansão no mercado, sendo que a adubação orgânica é complementada somente com certos fertilizantes minerais, como cinzas, pó de basalto e de granito, fosfatos de rocha e outros, dando sempre preferência aos recursos encontrados na própria unidade de produção agrícola ou próximos a ela, dispensando o uso de adubos e defensivos químicos sintéticos que possam causar desequilíbrios ecológicos (PENTEADO, 2000).

Segundo a legislação vigente no Brasil (lei no 10.831, de 23 de dezembro de 2003, do Ministério da Agricultura e Abastecimento), agricultura orgânica é definida como um sistema orgânico de produção agropecuária em que técnicas específicas são adotadas, mediante a otimização do uso de recursos naturais e sócio-econômicos disponíveis, respeitando a integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo as sustentabilidades econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiação ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção ao meio ambiente (BRASIL, 2003).

A produção orgânica tem uma inegável vantagem sobre a agricultura convencional devido ao seu impacto benéfico, sendo um sistema de produção ecológico comprometido com a saúde, a ética e a cidadania do ser humano, contribuindo na preservação da vida e da natureza, procurando manter sempre o equilíbrio entre o solo e o ambiente, melhorando a fertilidade, o conteúdo de matéria orgânica, a atividade microbiana, e os minerais essenciais balanceados para suprir a nutrição das plantas e sua sanidade (PENTEADO, 2000, Tabela 1). Assim é aceita como aquela que respeita os ciclos naturais, as interrelações e as interdependências existentes nos agroecossistemas.

Tabela 1. Algumas diferenças entre agricultura orgânica e convencional (PENTEADO, 2000).

Agricultura orgânica	Agricultura convencional
- Tecnologia de processo (solo-plantas-ambiente).	- Tecnologia de produtos dependente de insumos externos.
- Proteção do solo, aumentando a vida microbiana e matéria orgânica, causando o equilíbrio de minerais essenciais.	- Erosão, empobrecimento em húmus e microrganismos do solo, desequilíbrio mineral.
- Plantas equilibradas e resistentes a pragas e doenças.	- Plantas desequilibradas, com baixa resistência.
- Produtos agrícolas saudáveis.	- Uso de pesticidas agressivos, riscos ao ambiente e à saúde humana.
- Ecossistema equilibrado.	- Produtos agrícolas contaminados.
- Auto-sustentável.	- Ecossistema desequilibrado.
- Impacto mínimo sobre o ambiente.	- Dependente de insumos externos.

Uma das principais práticas utilizadas nos cultivos orgânicos é o fornecimento e/ou preservação de microrganismos do solo, para que as condições ideais de transformação biológica sejam asseguradas. Condições de umidade e aeração e o equilíbrio do meio ambiente são fatores determinantes para a sobrevivência desses microrganismos e, conseqüentemente, sua utilização como agentes protetores e preservadores do solo (ORMOND et al., 2002). Na agricultura orgânica, o solo é visto como um organismo vivo, e o equilíbrio entre os organismos permite um combate natural às pragas e assim, com todos esses fatores a planta se desenvolve melhor (PRIMAVESI, 2002; RIOSVIVOS, 2010).

O cultivo orgânico de cana-de-açúcar se intensificou na década de 80, com o Projeto Cana Verde, na Usina São Francisco, de Sertãozinho (SP), cujo objetivo era diminuir a dependência dos insumos modernos na produção. Em 1994, a empresa iniciou o processo de produção orgânica de açúcar, surgindo também outras empresas nesse ano, como a Usina UNIVALEM e a Usina Santo Antonio, ambas de Piracicaba (VIAORGANICA, 2010).

A biodiversidade nos canaviais orgânicos é considerada sete vezes maior do que nos convencionais (RIOSVIVOS, 2010). Isso ocorre porque o processo de cultura orgânica permite a formação de uma cadeia alimentar facilitando o aumento da biodiversidade.

Microrganismos que são eliminados nos canaviais tradicionais com o uso de produtos químicos ou pelo sistema de colheita através do fogo, no sistema orgânico estes alimentam insetos, que alimentam pequenos répteis, que alimentam aves, que alimentam animais maiores. Levantamentos científicos feitos na Usina São Francisco constataram aumento na biodiversidade em áreas cultivadas com cana-de-açúcar orgânica, onde circulam pela área 247 espécies de vertebrados, dentro os quais vários já ameaçados de extinção (VIAORGANICA, 2010).

2.3 Qualidade do solo

O conceito de qualidade do solo começou a ser elaborado no início dos

anos 90, e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. A preocupação com a qualidade do solo foi crescendo à medida que seu uso intensivo passou a resultar na diminuição da sua capacidade produtiva e sustentável ao longo dos anos (BATISTA et al., 2008). Porém, o principal avanço foi o aceite da sociedade quanto à importância de avaliar a qualidade do solo (CONCEIÇÃO, 2002).

Para Larson e Pierce (1991), a qualidade do solo é considerada pelas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Segundo Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo envolve a capacidade do mesmo em funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do meio ambiente, promovendo a saúde das plantas e dos animais, além de aspectos sócio/econômicos e políticos.

Embora ainda não exista um único conceito aceito, a qualidade do solo pode ser compreendida como a capacidade de um solo responder a um determinado uso, cuja eficiência depende das condições de formação e, especialmente, do manejo adotado (CORREA; WHITE; WEATHERLEY, 2005). Há um consenso entre pesquisadores e agricultores de que o solo é um elemento chave, sendo um fator importante a sua manutenção/melhoria para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Os atributos considerados indicadores de mudanças na qualidade do solo devem ter a capacidade de serem sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação de suas alterações (ISLAM; WEIL, 2000). Um bom indicador ambiental da qualidade do solo deve integrar vários processos e propriedades do solo, ser de fácil determinação, preciso e exato em descrever uma função particular que expresse mudanças no ambiente (TÒTOLA; CHAER, 2002).

Diversas propriedades físicas, químicas e biológicas têm sido sugeridas como bons indicadores de qualidade do solo. Os parâmetros físicos mostram a densidade, agregação do solo e volume e tamanho de poros, já os atributos químicos do solo permitem uma melhor compreensão da dinâmica de absorção de nutrientes pelas plantas, sendo o pH indicador da disponibilidade e absorção dos nutrientes pelas plantas. A capacidade do solo em manter os

elementos essenciais disponíveis às plantas é governada pela CTC, capacidade de troca catiônica (CHAVES et al., 2004). Os teores de N total, P disponível e as formas trocáveis de K, Ca e Mg indicam se as reservas do solo atenderão as necessidades nutricionais das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

No entanto, parâmetros químicos e físicos alteram lentamente, sendo necessário muito tempo para verificar mudanças significativas. Já indicadores microbiológicos do solo são responsáveis por pequenas alterações que ocorrem, proporcionando informações imediatas e precisas (PASCUAL et al., 2000).

A atividade microbiana tem figurado como importante indicador da qualidade do solo por apresentar alta sensibilidade às perturbações antropogênicas, possuindo papel direto em muitos processos do ecossistema, incluindo armazenamento e disponibilidade de água, decomposição de resíduos orgânicos, transformação e ciclagem de nutrientes, além de fácil avaliação e baixo custo (STENBERG, 1999; TRANNIN; SIQUEIRA; MOREIRA, 2007). Entre os parâmetros mais utilizados pela comunidade científica para analisar os componentes biológicos dos solos, destacam-se as avaliações da biomassa microbiana do solo.

A biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, excluindo raízes e organismos maiores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$. É constituída por diversos grupos de microrganismos, como fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários e algas (DE-POLLI; GUERRA, 1999). As bactérias e fungos são os microrganismos mais abundantes tanto em diversidade como em densidade, respondendo por cerca de 90% da atividade microbiana do solo (SIQUEIRA et al., 1994). A comunidade de bactérias do solo é estimada em cerca de $10^8 - 10^9$ organismos por grama de solo. Os fungos são os principais contribuintes em peso seco para a biomassa microbiana do solo e são encontrados em comunidades variando de 10^4 a 10^6 organismos por grama de solo (BRANDÃO, 1992).

Os microrganismos do solo apresentam diversificadas formas de vida, possuem rica diversidade química e molecular na natureza, constituindo a base

de processos ecológicos, como os ciclos biogeoquímicos e a cadeia trófica. O desenvolvimento dos microrganismos depende, em parte, da espécie, mas principalmente das condições do meio em que vivem, como temperaturas ao redor de 25 a 30°C, riqueza de minerais, pH, aeração, estrutura do solo, umidade e matéria orgânica (PRIMAVESI, 2002). Segundo Santos e Camargo (1999), dentre as variáveis climáticas, a precipitação pluviométrica e a temperatura são as que exercem maior influência sobre a microbiota, que é também sensivelmente influenciada por alterações no manejo do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta de um sistema complexo de substâncias cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas, como restos de plantas e animais em vários estágios de decomposição, microrganismos vivos e o húmus, que é relativamente estável (PRIMAVESI, 2002). A matéria orgânica do solo tem grande influência sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente sobre a CTC, disponibilidade de nutrientes, estabilidade de agregados e atividade microbiana. Quanto mais matéria orgânica no solo, mais carbono imobilizado pela biomassa microbiana do solo (VASCONCELLOS et al., 1999). A biomassa atua como agente de transformação da matéria orgânica no ciclo de nutrientes e fluxo de energia. Os nutrientes armazenados na biomassa microbiana podem conter entre 2-5% do C orgânico do solo e 1 a 5% do N total do solo (DEPOLLI; GUERRA, 1999), e atingir valores equivalentes a 100 kg de N, 80 kg de P, 70 kg de K e 11 kg de Ca por hectare.

Como a biomassa dos microrganismos é reciclada cerca de 10 vezes mais rapidamente que a fração orgânica morta do solo, a quantidade de nutrientes presentes nas células dos microrganismos é muito significativa perante a ciclagem de nutrientes em todo o ecossistema. Entre os atributos estudados, a biomassa microbiana tem sido usada para avaliar as condições do solo, pois representa a fração responsável pela mineralização da matéria orgânica. Os nutrientes retidos na biomassa são liberados para a solução do solo à medida que os microrganismos morrem e são mineralizados, sendo de grande importância para o ambiente seu papel no ciclo biogeoquímico, podendo ser enquadrada como compartimento central do ciclo do carbono,

representando um considerável reservatório de nutrientes, exercendo a função de reserva ou fonte, dependendo da quantidade de energia que entra ou sai do sistema (JENKINSON; LADD, 1981).

O carbono contido na biomassa microbiana é o destino inicial deste elemento em transformação no solo e funciona como energia armazenada para processos microbianos e, por apresentar respostas rápidas às alterações do meio, é considerado como indicador de alterações na matéria orgânica (DE-POLLI; GUERRA, 1999), representando um parâmetro eficiente e sensível na avaliação da qualidade do solo submetido a diferentes sistemas de manejo (TÒTOLA; CHAER, 2002; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

Entre os métodos mais utilizados para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) no Brasil, destaca-se o de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Essa determinação é feita a partir da extração do C-orgânico das amostras fumigadas e não fumigadas utilizando um extrator fraco como o sulfato de potássio.

O método de fumigação-extração é recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para avaliações de biomassa microbiana devido à sua maior sensibilidade ao carbono orgânico total do solo (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). Através do C da biomassa microbiana do solo pode-se estabelecer parâmetros para avaliar a dinâmica do C entre os tratamentos.

A respiração basal (RB) ou atividade respiratória da biomassa microbiana do solo representa a atividade metabólica da massa de microrganismos do solo. É considerada a principal medida para avaliar a atividade microbiana do solo (ALEF, 1995), sendo a quantidade de CO₂ liberado indicativo do carbono lábil ou prontamente metabolizável do solo (DORAN; PARKIN, 1994), resultante da decomposição da matéria orgânica pela comunidade microbiana do solo, quantificando o carbono que está sendo degradado no solo. É considerada um dos parâmetros mais antigos para quantificar as atividades da microbiota do solo. Porém, aumentos excessivos na taxa de respiração do solo podem significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de C orgânico do solo para

a atmosfera (CARVALHO et al., 2008). De acordo com Siqueira et al. (1994), a taxa de CO₂ liberada está diretamente relacionada à decomposição da matéria orgânica e mineralização do húmus.

Anderson e Domsch (1993) com suporte na teoria de Odum (1969), propuseram que o Quociente Metabólico (qCO_2) é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo e por unidade de tempo, indicando a qualidade da biomassa microbiana (WARDLE, 1994), pois uma biomassa microbiana mais eficiente libera menos carbono na forma de CO₂ pela respiração e incorpora mais carbono em sua constituição, aumentando assim sua massa microbiana (GAMA-RODRIGUES, 1999).

O qCO_2 é o principal indicador de estresse microbiano, pois comunidades microbianas expostas a qualquer tipo de perturbação serão menos eficientes em converter o C assimilado em nova biomassa. Por conseguinte, sob tais condições de estresse ou distúrbio, o qCO_2 será mais elevado quando comparado a ambientes (solos) mais estáveis, ou mais próximos do seu estado de equilíbrio. Com isso, a melhoria da qualidade do solo resulta em menor quociente metabólico, ou seja, o qCO_2 é negativamente correlacionado com a qualidade do solo sendo, portanto, um indicador do seu estresse, distúrbio ou desequilíbrio funcional (ISLAM; WEIL, 2000). Pode ser utilizado para definir e quantificar mais claramente a atividade microbiana.

A quantificação da população microbiana do solo tem sido feita tradicionalmente com base no isolamento de microrganismos em meios de cultura adequados, através da técnica de plaqueamento e diluição em série. No entanto, somente cerca de 1% da população bacteriana do solo pode ser cultivada pelas práticas padrões de laboratório (KOHLENER et al., 2009). A contagem direta por microscopia de fluorescência pode resultar em 100 a 1000 vezes mais microrganismos quando comparada com o plaqueamento (JOHNSON et al., 2001). Porém, estas técnicas não fornecem uma visão acurada da diversidade dos membros da comunidade microbiana (HUNT et al., 2004).

As técnicas moleculares são mais eficazes, geralmente baseadas na caracterização de ácidos nucleicos extraídos do solo e amplificação de regiões

específicas do DNA por PCR (*Polymerase Chain Reaction*), permitindo a identificação de microrganismos e oferecendo grande potencial para estudos da comunidade microbiana do solo (CRECCHIO et al., 2004).

Nos últimos anos, vários trabalhos foram desenvolvidos utilizando indicadores biológicos do solo para verificar mudanças no solo sob diferentes sistemas de cultivo. D'Andrea et al. (2002) estudando os sistemas de manejo do cerrado concluiu que quanto mais velho é o sistema, maior será o CBM. Estudo realizado por Tu, Ristaino e Hu (2006) em cultura de tomate em solo arenoso nos Estados Unidos, constataram aumento no CBM no solo sob cobertura orgânica. Sampaio, Araújo e Santos (2008) concluíram que a adoção do sistema orgânico aumentou a atividade microbiana e o conteúdo de carbono do solo, mostrando os benefícios desse sistema agrícola. Maluche-Bareta, Amarante e Klauberg-Filho (2006) trabalhando com maçãs, verificaram que o sistema orgânico de produção propiciou aumento nos teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, nitrogênio total e carbono orgânico total, em relação ao sistema de produção convencional.

No entanto, são poucos os estudos que mostram os efeitos do sistema de cultivo orgânico de cana-de-açúcar sobre as propriedades do solo. Barbosa (2010) concluiu que o sistema de cultivo orgânico de cana-de-açúcar, quando comparado com o sistema convencional, promoveu aumentos significativos no CBM do solo. Segundo Machado (2008), o sistema de produção orgânico pode ser adotado para o cultivo de cana-de-açúcar, com produção equivalente ao sistema convencional.

Oliveira (2008), estudando áreas sob cultivo orgânico de cana-de-açúcar, concluiu que este sistema agrícola contribui para a manutenção da qualidade do solo.

A agricultura orgânica promove mudanças positivas no solo, aumentando a biomassa microbiana do mesmo. Desta forma, os sistemas orgânicos são extremamente importantes para o aumento da fertilidade do solo e a manutenção da sustentabilidade ambiental (ARAUJO; MELO, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, *Campus* de Araras, Estado de São Paulo, em uma área experimental que já utiliza o cultivo de cana-de-açúcar de forma orgânica por um período de 10 anos. Encontra-se localizado a 22°21'25" latitude Sul e 47°23'03" longitude Oeste de Greenwich. Com altitude de 629 metros, o clima, segundo Köppen, é o CWa, mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos. A temperatura média no período do experimento foi de 21,6°C e a precipitação anual, de 2.116,2 mm. O solo predominante da área é classificado como Latossolo vermelho-escuro (EMBRAPA-CNPS, 2006). O experimento foi implantado em Abril/2009, em uma área total de 3200 m² (Figuras 1 e 2).

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24

parcelas (Figura 3). Cada parcela apresentou 75 m² de área, com 5 linhas, sendo 3 centrais e duas de bordadura, com espaçamento de 1,4 m por 8,0 m de comprimento. A área do experimento era cercada por sansão, pinhão manso e plantio convencional de cana de açúcar.



Figura 1. Foto da área antes da implantação do experimento.



Figura 2. Foto da área durante a etapa de adubação.

pinhão manso						
D	SC - D	SOCA - D	SOCO - D	SCCO - D	SCCA - D	TA - D
C	SOCO - C	TA - C	SCCO - C	SOCA - C	SC - C	SCCA - C
B	SCCA - B	SOCO - B	SOCA - B	TA - B	SCCO - B	SC - B
A	SOCO - A	SCCA - A	TA - A	SOCA - A	SC - A	SCCO - A
sansão						

Figura 3. Croqui da área de estudo. Tratamentos: TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais. A,B,C e D: parcelas.

3.3 Descrição dos tratamentos

A variedade de cana-de-açúcar escolhida foi a RB867515, tendo sido utilizados os seguintes tratamentos:

TA:

Testemunha Absoluta, sem adição de corretivo, composto, adubo ou calcário.

SOCO:

Sistema orgânico utilizando corretivo orgânico Visafertil® na proporção de 1800 kg/ha e composto orgânico Visafertil® na proporção de 12500 kg/ha, sendo o controle das ervas espontâneas realizado com cultivo mecânico e capinas manuais.

SOCA :

Sistema orgânico utilizando calcário e composto orgânico Visafertil®, nas quantidades de 1600 kg/ha de calcário PRNT 90,5% e de 12500 kg/ha,

respectivamente, sendo o controle das ervas espontâneas realizado com cultivo mecânico e capinas manuais.

SC:

Sistema convencional utilizando calcário e adubos minerais, nas quantidades de 900 kg/ha de 04-20-10 (para N-P-K) e 270 kg/ha de sulfato de amônia, sendo o controle das ervas espontâneas realizado com herbicida SENCOR® na proporção de 3,0 L/ha.

SCCO:

Sistema convencional com corretivo orgânico Visafertil® na proporção de 1800 kg/ha e adubos nas quantidades de 270 kg/ha de sulfato de amônia e 900 kg/ha de 04-20-10 (para N-P-K), sendo o controle das ervas espontâneas realizado com herbicida SENCOR® 3,0 L/ha.

SCCA:

Sistema convencional sem calcário, mas com adubos, utilizando-se as quantidades de 270 kg/ha de sulfato de amônia e 900 kg/ha de N-04 P-20 K-10, sendo o controle das ervas espontâneas realizado com herbicida SENCOR® 3,0 L/ha.

Foram utilizados os produtos orgânicos Visafertil® (composto e corretivo) cujas constituições encontram-se na Tabela 2. A análise química dos produtos foi realizada no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFSCar. *Campus* de Araras.

Os produtos orgânicos Visafertil® são derivados de matérias-primas renováveis de empresas produtoras de resíduos orgânicos sólidos, onde através de compostagem as matérias-primas são fermentadas individualmente até ficarem uniformes, fazendo um insumo balanceado com alto teor de matéria orgânica e nutrientes para as plantas (VISAFÉRTIL, 2011).

Tabela 2. Composição dos produtos Visafértil® utilizados nos experimentos.

	Corretivo orgânico	Composto orgânico
pH	10,1	8,0
C (%)	10,4	23,2
N (%)	1,05	2,25
P ₂ O ₅ (%)	1,9	3,3
K ₂ O (%)	1,8	2,66
CaO (%)	29,4	8,95
MgO (%)	1,65	0,96
SO ₄ (%)	1,08	1,05
Umidade (%)	39	53,8
Cu (ppm)	75	150
Fe (ppm)	5040	6600
Mn (ppm)	575	630
Zn (ppm)	97	250

3.4 Dados metereológicos

Os dados metereológicos (pluviosidade e temperatura do ar) foram obtidos na Estação Metereológica do CCA/UFSCar-Araras-SP, situado a poucas dezenas de metros da área de estudo.

3.5 Amostragem de solo para análise química

Foram realizadas quatro amostragens de solo a uma profundidade de 0-20 cm para análise química. A primeira foi realizada em Março/2009 na área total antes da implantação da cultura com finalidade de estabelecer uma situação inicial das condições do solo e ao mesmo tempo permitir os cálculos da calagem e da adubação. As outras três amostragens foram realizadas em Setembro/2009, Abril/2010 e Julho/2010, abrangendo as fases de desenvolvimento inicial da cultura, desenvolvimento vegetativo pleno e fase de maturação, respectivamente.

Dentre os parâmetros químicos, foram avaliados o teor de matéria

orgânica (MO), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), pH, capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e acidez potencial (H+AL). As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFSCar, *campus* Araras, da seguinte forma:

pH – medido em suspensão de solo, 100cm³ de terra em 25 mL de CaCl₂ (0,01M), em determinação potenciométrica com eletrodo combinado.;

Matéria orgânica – calculada através da multiplicação da porcentagem de carbono pelo fator 1,72;

Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) – transferência dos elementos do solo para resina trocadora de íons em meio aquoso e extração com solução ácida de cloreto de sódio, determinação por espectrofotometria de absorção atômica;

Soma de bases (SB) – somatória dos teores de cálcio, magnésio e potássio;

Acidez potencial (H+AL) – avaliação pela depressão causada no pH de solução tampão, mediante curva de correlação entre valores de pH da solução tampão e valores de acidez potencial determinados em solos, pelo método do acetato de cálcio;

Saturação por bases (V%) – porcentagem correspondente à divisão da soma de bases pela capacidade de troca catiônica;

CTC – soma dos valores de Soma de bases e acidez potencial.

3.6 Amostragem de solo para análise microbiológica

As amostragens foram realizadas em oito épocas diferentes, nos meses de Maio/2009, Agosto/2009, Outubro/2009, Dezembro/2009, Fevereiro/2010, Abril/2010, Junho/2010 e Setembro/2010. Com o auxílio de uma enxada, foram coletadas amostras compostas de três sub-amostras simples, de forma aleatória, na linha dos 3 sulcos centrais na profundidade de 0-10 cm.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular da UFSCar, *campus* de

Araras, onde foram peneiradas em malha de 4 mm e armazenadas em refrigerador até o momento da realização das análises microbiológicas.

3.7 Quantificação do número de unidades formadoras de colônias de bactérias e fungos

Para estimar o número de bactérias e fungos totais foi empregada a metodologia de diluição em série, conforme Wollum (1982). Amostras de 10 g de solo foram adicionadas a 90 mL de solução salina e homogeneizadas em agitador por 30 minutos. A partir desta solução foram realizadas diluições sucessivas com alíquotas de 1,0 mL, sendo transferidas para tubos de ensaio contendo 9 mL de solução salina. Para cada diluição foram feitas 2 repetições, inoculando 0,1 mL por placa, e espalhando com auxílio de alça de vidro. As placas foram incubadas a temperatura de 35°C por 48 horas para bactérias e 30°C por 72 horas para fungos. Após este período, foi realizada a contagem do número de colônias.

Foram utilizados os meios Ágar Nutriente para bactérias e de Martin para fungos (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Composição do meio Ágar nutriente.

Componente	Quantidade
Peptona	5,0 g
Extrato de carne	3,0 g
Cloreto de sódio	1,0 g
Agar	20,0 g
Água destilada	1 litro
Nistatina (Micostatin®)	2mL - adicionou-se ao meio de cultura esterilizado e liquefeito, à temperatura de aproximadamente 55°C

Tabela 4. Composição do meio de Martin.

Componente	Quantidade
KH ₂ PO ₄	1,0 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,5 g
Peptona	5,0 g
Dextrose	10,0 g
Rosa de Bengala	0,03 g
Ágar	20,0 g
Água destilada	1 litro
Estreptomicina	2 mL - adicionou-se ao meio de cultura esterilizado e liquefeito, à temperatura de aproximadamente 55°C

3.8 Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM)

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana do solo foi utilizado o método de fumigação-extração descrito por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). As amostras foram analisadas em triplicata, ou seja, cada amostra foi dividida em seis sub amostras de 25 g cada, acondicionadas em frascos de vidro de 100 mL, sendo que três delas foram submetidas a fumigação-extração e três a extração imediata após a pesagem (amostras não fumigadas). Os frascos contendo as amostras para fumigação foram transferidos para um dessecador previamente forrado com papel úmido. Juntamente com esses frascos, outro frasco contendo 10 mL de CHCl₃, isento de etanol, foi colocado permanecendo sob fumigação por 24 horas. Logo após o CHCl₃ foi removido por aspirações sucessivas.

As amostras foram acrescidas de 100 mL de K₂SO₄ (0,5 M), procedendo-se a extração em agitador a 220 rpm por 30 minutos. A solução resultante foi decantada e filtrada em papel de filtro. A determinação do Carbono nos extratos fumigados e não fumigados foi realizada por dicromatometria, a partir da retirada de 8 mL do extrato, adicionando-se 2 mL de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇ 0,066 M), 10 mL de H₂SO₄ concentrado e 5

mL de H_3PO_4 concentrado. A mistura foi aquecida em banho-maria por uma hora a $30^\circ C$, e após o resfriamento acrescentou-se 10 mL de água destilada e 3 gotas de difenilamina. Com a adição do indicador, a solução passa da cor amarela para violeta. O dicromato em excesso foi titulado com uma solução de sulfato ferroso amoniacal 0,033 M. Ao final da titulação, a coloração da solução irá do violeta para o verde. Frascos sem solo (branco) contendo todos os reagentes receberam o mesmo tratamento dado as amostras, sendo usados como controle.

O teor de carbono nos extratos de solo foi calculado da seguinte maneira:

$$C \text{ (mg C/Kg)} = (V_b - V_a) \times M \times 0,033 \times V_1 \times 10^6 / P_s \times V_2$$

onde:

C= carbono extraído do solo;

V_b = volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco);

V_a = volume (mL) gasto de sulfato ferroso na titulação da amostra;

M= molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal;

V_1 = volume do extrator para a titulação;

V_2 = alíquota pipetada do extrato para titulação;

0,033= miliequivalente do carbono;

P_s = massa de solo seco (g)

Para o cálculo do CBM foi utilizada a seguinte fórmula:

$$CBM \text{ (mg C/Kg solo)} = FC / K_c$$

onde:

FC= fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C ($mg \cdot kg^{-1}$) recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada;

K_c = fator de correção de 0,33 preconizado por Sparling e West (1988), a fim de expressar a fração de carbono da biomassa microbiana de solo recuperada

após o processo de fumigação e extração.

3.9 Respiração basal (RB)

A atividade microbiana foi determinada através da metodologia descrita por Grisi e Gray (1986), pela quantidade de CO₂ liberado das amostras durante a incubação do solo no período de 7, 14 e 21 dias, sob condições laboratoriais e absorvido por uma solução alcalina de KOH 0,5N, para posterior quantificação com solução ácida através da titulometria de neutralização.

Foram utilizados 200 g de solo de cada parcela, incubados em potes de vidro hermeticamente fechados no escuro, contendo um frasco com 10 mL de KOH 0,5N para captura do CO₂ desprendido do solo. A cada sete dias de incubação, durante três semanas, a solução de KOH com CO₂ absorvido foi titulada com uma solução padronizada de HCl 0,1N. Utilizou-se fenolftaleína como indicador para o KOH não reagido e após sua viragem, adicionou-se metil orange como indicador para o carbonato formado pela reação entre o KOH e o CO₂ evoluído. Para o cálculo da respiração basal, foi utilizada a fórmula a seguir:

$$RB (\mu g \text{ CO}_2/g \text{ solo}/dia) = (A - B) \times 2 \times 2,2 / 1000 / 200 / T$$

onde,

A = diferença em mL entre a 1^a e 2^a viragem das amostras;

B = diferença em mL entre 1^a e 2^a viragem da testemunha;

X 2 = referente à titulação de apenas metade do carbonato do frasco da amostra pelo HCl 0,1N;

X 2,2 = referente ao equivalente-grama do CO₂ (44/2=22) e o uso de HCl 0,1N (decinormal), ficando então 22/10=2,2 (para cada molécula de carbonato formado corresponde uma molécula de CO₂ absorvido);

1000 = transformação de mg em µg;

200 = quantidade de solo (em g);

T = tempo de incubação da amostra em dias (21 dias)

3.10 Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) é a relação entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993), e tem sido utilizada para estimar a eficiência do uso do substrato pelos microrganismos do solo.

Para o cálculo do quociente metabólico, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$qCO_2 (\mu g \text{ C-CO}_2/\mu g \text{ CBM/hora}) = RB (\mu g \text{ C-CO}_2/g \text{ solo/hora}) / CBM (\mu g \text{ C/g solo})$$

onde,

RB = Respiração Basal

CBM = Carbono da biomassa microbiana

3.11 Análise estatística

Todas as variáveis estudadas foram submetidas a análise de variância (ANOVA), com blocos ao acaso com parcelas subdivididas, e no caso de diferenças significativas entre os tratamentos e ou épocas de coletas, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5%. Utilizou-se o programa estatístico disponibilizado pelo autor Caetano Brugnaro na página do CCA/UFSCar-Araras-SP (BRUGNARO, 2010).

Para as variáveis microbiológicas, foram feitas transformações antes da análise estatística, sendo o carbono da biomassa microbiana, respiração basal e unidades formadoras de colônias (UFC) de bactérias e fungos transformados em logaritmo na base 10, e o qCO_2 utilizando a equação $\sqrt{x+1}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos

Os resultados das análises químicas do solo encontram-se nas Figuras 4 a 13, mostrando as comparações entre os tratamentos e entre os períodos de coleta.

Não houve diferença entre os tratamentos quanto ao teor de matéria orgânica do solo, porém houve diferença entre os períodos de coletas, sendo significativamente maior nas coletas de Abril e Julho/2010 (Figura 4). Isto pode ser devido à fase de maturação da cana-de-açúcar, resultando em maior deposição de resíduos das culturas sobre o solo.

Pavinato, Merlin e Rosolem (2009) verificaram aumento nos teores de matéria orgânica do solo na camada superficial (0-5 cm) ao longo de 10 anos de cultivo no sistema de semeadura direta (SSD), quando comparado com o cultivo convencional para ambos os solos (vermelho e vermelho-amarelo). Isto se explica pela deposição de resíduos das culturas sobre a superfície do solo no SSD, o que resulta em acumulação superficial de materiais orgânicos em diferentes estágios de decomposição. Na área em estudo, o curto período de tempo analisado (8 meses) pode não ter sido suficiente para causar alteração

no parâmetro matéria orgânica.

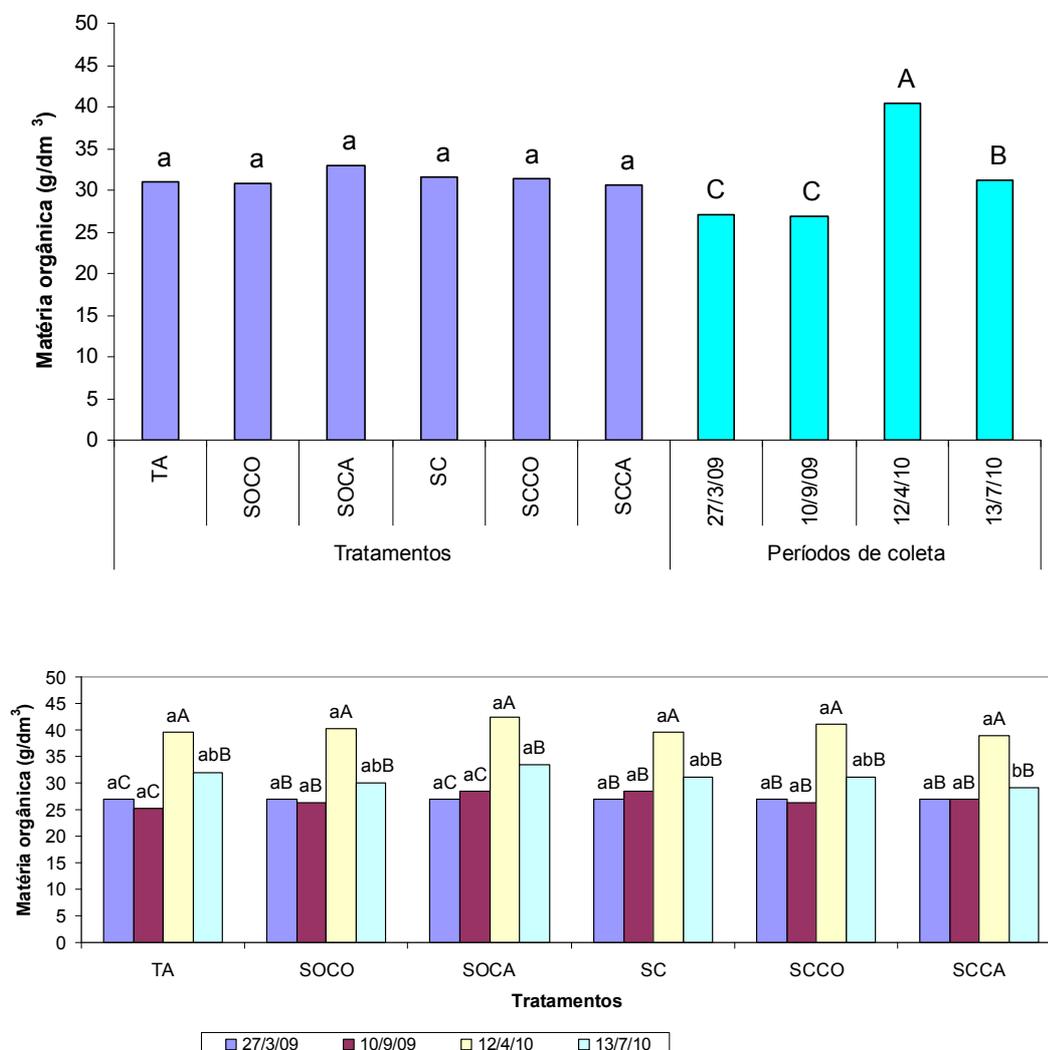


Figura 4. Matéria orgânica (%) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os microrganismos podem ser classificados de acordo com a faixa de pH, sendo esse um parâmetro que pode influenciar na quantificação da comunidade microbiana (PRIMAVESI, 2002). Os valores de pH do solo observados situaram-se entre 4,6 e 5,9 (Figura 5), considerados bons para cultura de cana-de-açúcar (MAPA, 2011).

Entre os sistemas estudados, os tratamentos orgânicos apresentaram maiores valores de pH. Pode ser observado também que ocorreu uma elevação significativa do pH do solo nestes tratamentos ao longo do período de coleta (Figura 5). Assim como os resultados encontrados por Santos (2010), os valores mais elevados foram observados na área sob cultivo orgânico.

A elevação do pH está diretamente relacionada com a prática da adubação orgânica, sugerindo que a adição do composto orgânico contribui para anular as cargas positivas da matriz mineral do solo pela adsorção específica de ânions orgânicos, resultando em baixa acidificação do solo (SANTOS, 2010).

Comparando entre as épocas, no mês de Julho/2010, fase de maturação da cana-de-açúcar, o solo apresentou maior valor de pH (Figura 5). Segundo Pavinato, Merlin e Rosolem (2009), a elevação do pH do solo com a adição de resíduos vegetais é um resultado esperado, o que corrobora os resultados encontrados para matéria orgânica (Figura 4), que apresentou teores significativamente maiores em Abril e Julho/2010.

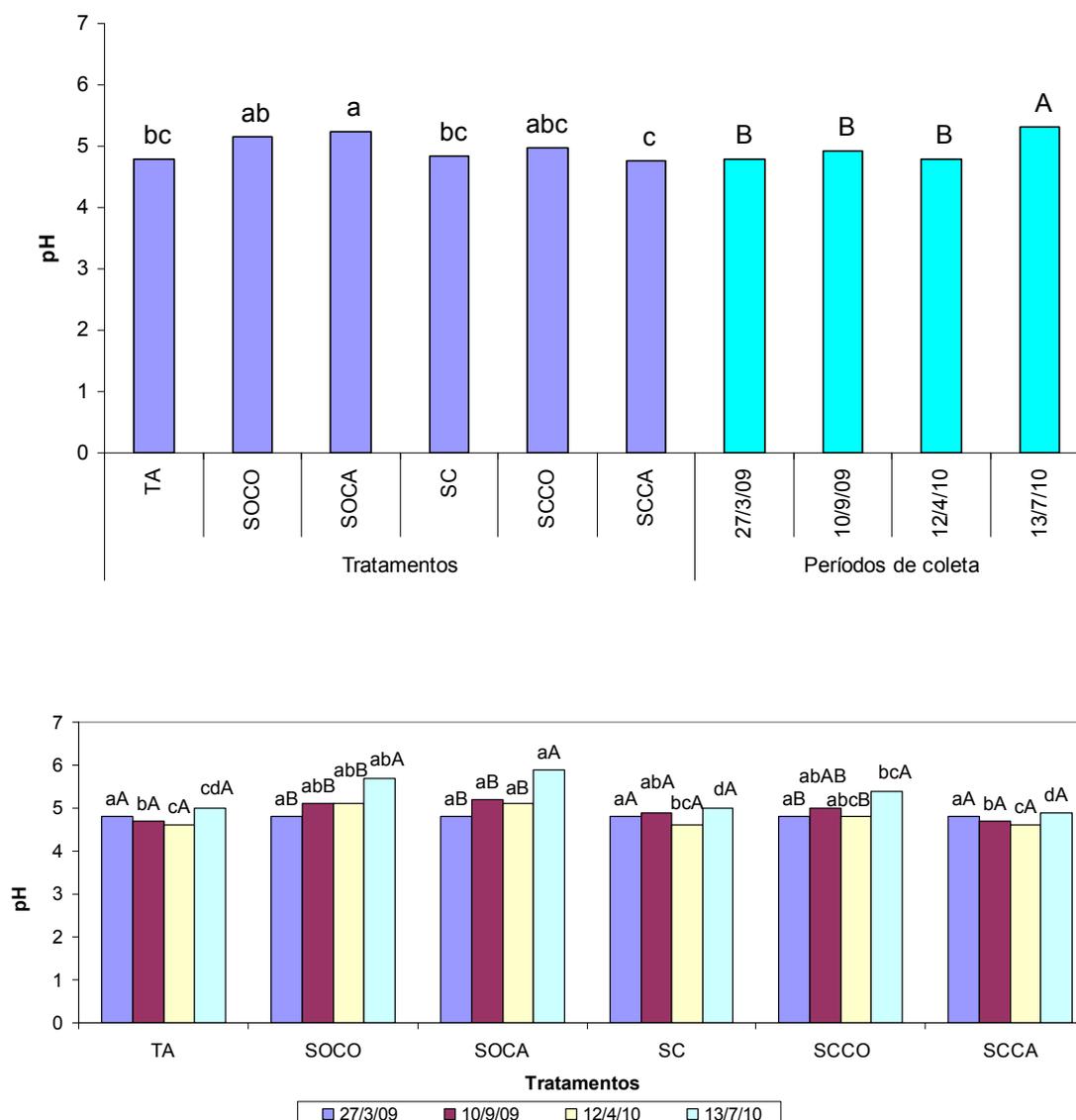


Figura 5. pH do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quanto ao teor de potássio do solo, não houve significativa diferença entre os sistemas de manejo orgânico e convencional, ocorrendo apenas diferença significativa entre o tratamento orgânico SOCO e o tratamento testemunha (Figura 6).

Almeida et al. (2005) verificaram após seis anos de cultivo com práticas de semeadura direta, aumento significativo no teor de K em relação ao preparo convencional. Talvez o curto período de tempo do experimento pode não ter sido suficiente para mostrar alterações no parâmetro potássio.

Diferenças significativas ocorreram entre os períodos de coletas, sendo significativamente maior nas coletas de Março e Setembro/2009 (Figura 6), fase de início do experimento e perfilhamento da cana, respectivamente, diminuindo significativamente a seguir. Este é um resultado esperado, uma vez que o K é necessário para o desenvolvimento da cultura. Assim como em estudo feito por Pavinato, Merlin e Rosolem (2009) no cultivo de soja, as concentrações de K do solo foram maiores nos primeiros meses de cultivo, diminuindo até o final.

Quanto ao teor de Cálcio, entre os sistemas estudados, os tratamentos testemunha absoluta (TA) e SCCA apresentaram os menores valores e significativamente diferentes dos demais (Figura 7). Este é um resultado esperado, uma vez que nestes tratamentos não houve adição de calcário no solo, nem de corretivo, o qual apresenta cerca de 29% de CaO (Tabela 2). Assim como ocorrido no parâmetro pH, os tratamentos orgânicos SOCA e SOCO apresentaram uma significativa elevação no teor de Ca ao longo do tempo de avaliação do experimento (Figura 7).

Diferenças significativas no teor de Ca do solo também ocorreram entre os períodos de coletas, aumentando significativamente ao longo do tempo (Figura 7).

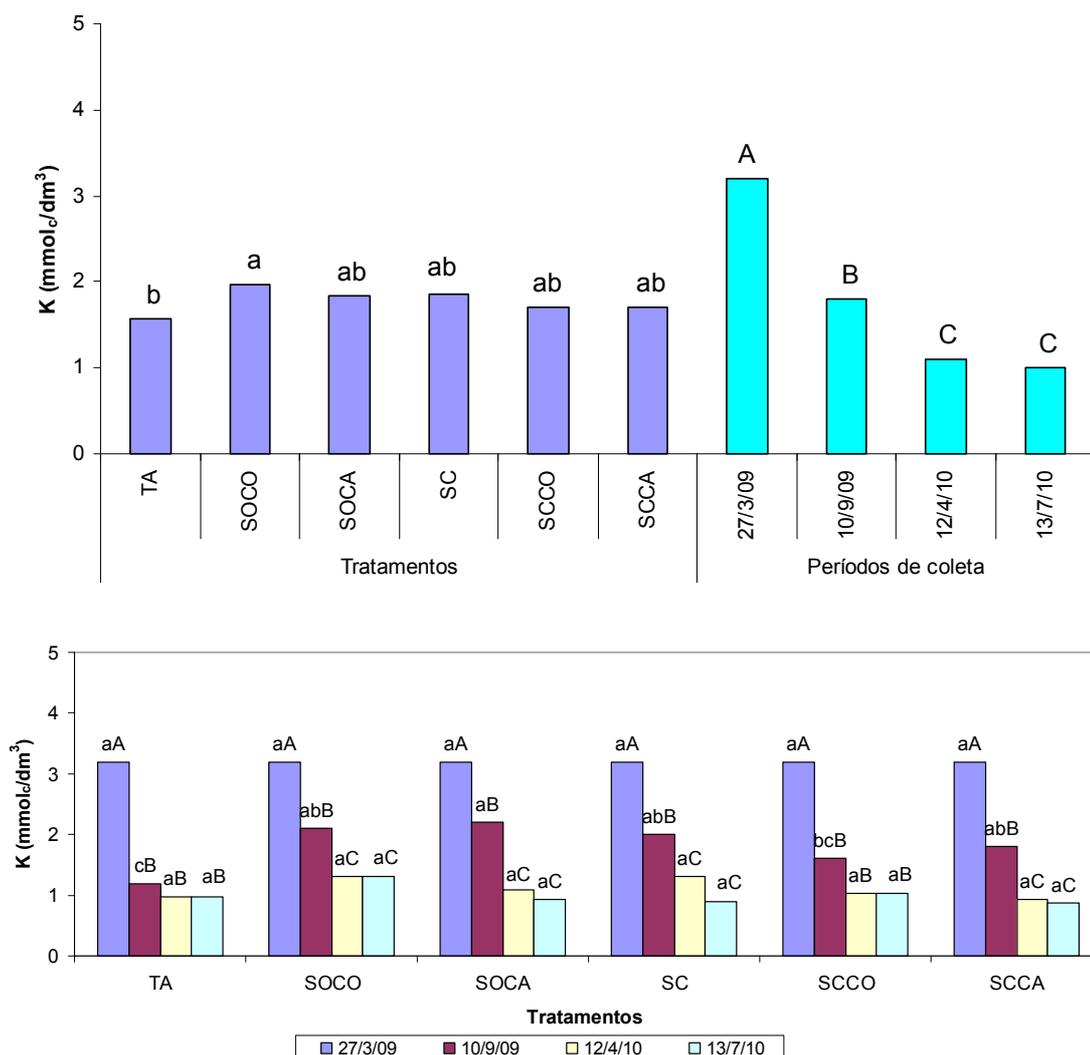


Figura 6. K (mmol/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

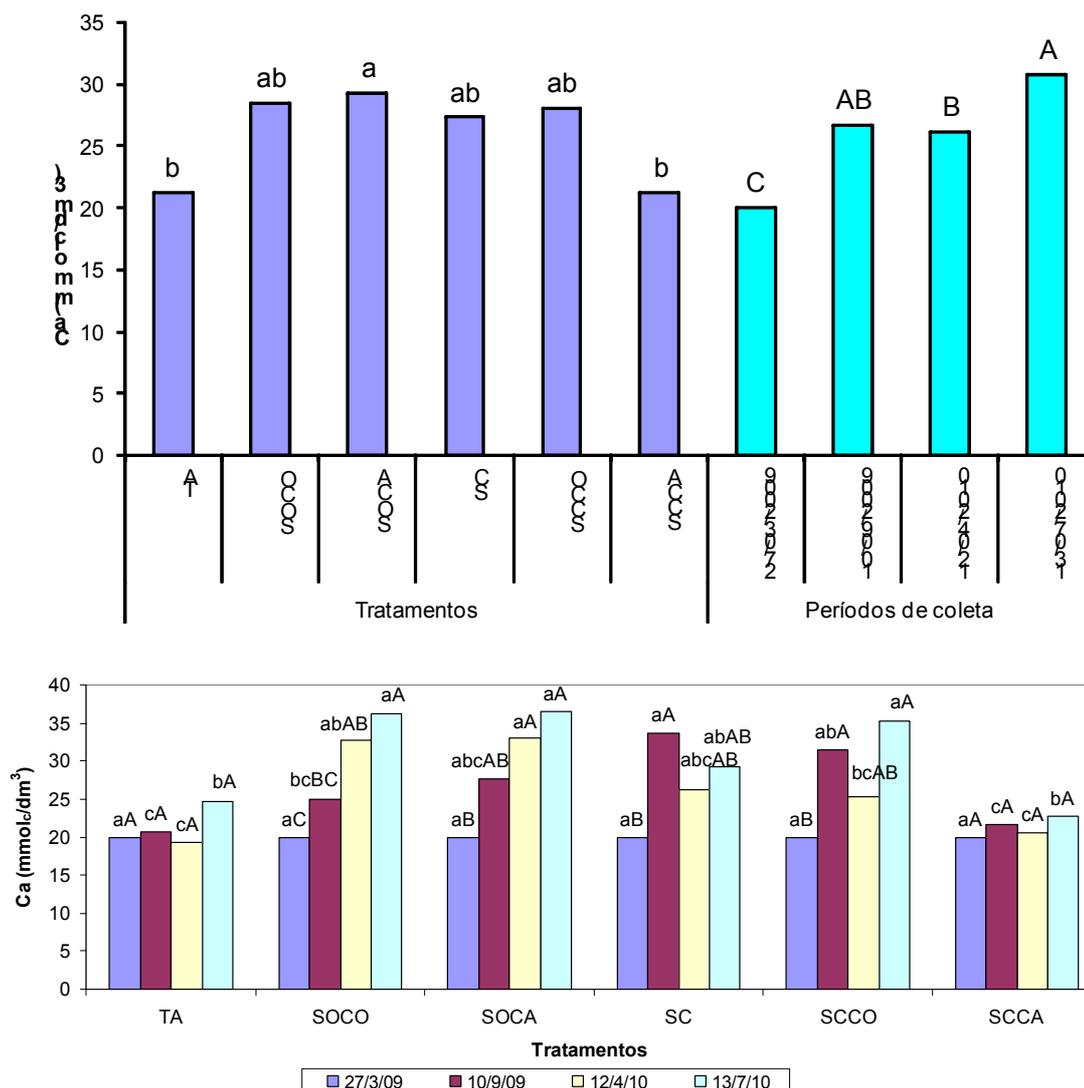


Figura 7. Ca (mmol/dm^3) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Almeida et al. (2005) observaram uma tendência de aumento no teor de Ca no sistema de plantio direto em relação ao sistema convencional após seis anos de cultivo. Santos (2010), estudando os atributos do solo sob cultivo de frutíferas, observou que em sistemas orgânicos os níveis de Ca são maiores quando comparados aos convencionais. No presente estudo, verificou-se que as diferenças no teor de Ca entre os tratamentos não foram devidas ao manejo orgânico ou convencional, mas ao fato de ter sido adicionado calcário ou corretivo orgânico, independentemente do manejo. No entanto, verificou-se uma liberação significativa de Ca no solo nos tratamentos orgânicos, como SOCA e SOCO, em comparação aos demais tratamentos, o que pode ser creditado à forma de manejo. O cálcio é um elemento importante pois promove a redução da acidez do solo, melhora o crescimento das raízes e aumenta a atividade microbiana (PRADO; NATALE, 2004).

O solo sob manejo orgânico apresentou diferença quando comparado com o solo sob sistema convencional quanto ao teor de magnésio, sendo o tratamento orgânico SOCA o que apresentou o maior valor, diferindo significativamente dos tratamentos convencionais SC, SCCA e da testemunha absoluta (Figura 8). No entanto, foi significativamente semelhante ao tratamento convencional SCCO, provavelmente devido à adição do corretivo, o qual apresenta cerca de 1,7% de MgO.

Os resultados estão de acordo com os apresentados por Santos (2010) onde maiores valores de Mg foram encontrados em sistemas orgânicos comparados com os sistemas convencionais. Pavinato, Merlin e Rosolem (2009) concluíram que em sistemas de plantio direto o teor de Mg tende a aumentar principalmente na camada superficial do solo (0-5 cm), devido à sorção desse elemento pelas cargas negativas da superfície do solo, facilitando sua permanência nessa camada.

Em relação ao período de coleta, ocorreu diferença entre os meses, tendo os meses de Setembro/09 e Julho/10 apresentado os maiores valores, significativamente diferentes dos valores observados nas coletas de Março/2009 e Abril/2010 (Figura 8).

Segundo Silveira (2000), o comportamento do Mg é variável nos

sistemas de manejo do solo e parece depender também do tipo de solo, sequência de cultura ou clima. Assim as variações ocorridas entre os períodos de coletas podem ser devidas, entre outras razões, aos diferentes estádios da planta ou às diferentes estações do ano.

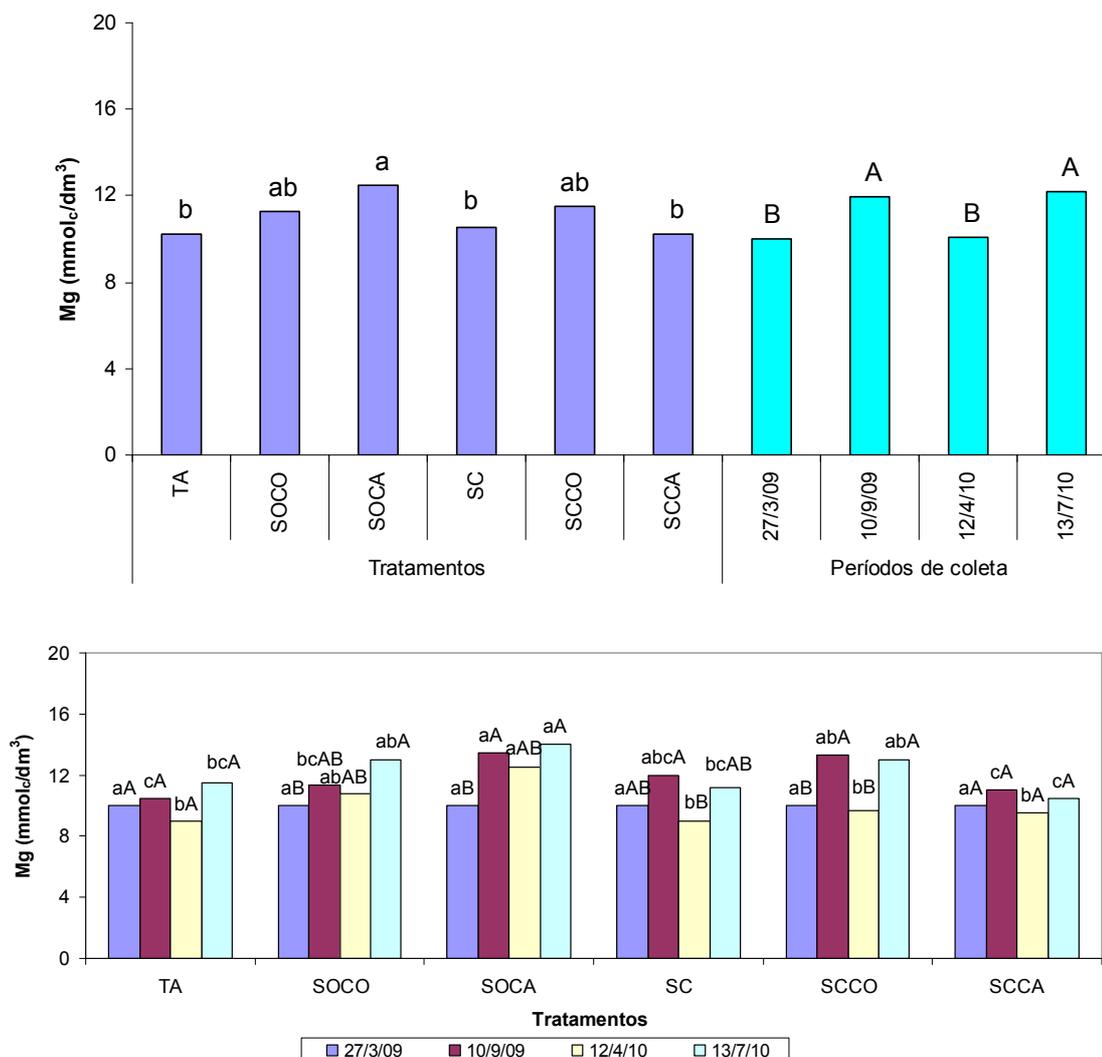


Figura 8. Mg (mmol_c/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quanto à acidez potencial ($H+Al$), houve diferença significativa entre os sistemas de manejo, tendo o tratamento convencional SCCA apresentado maior acidez potencial do solo, diferindo estatisticamente dos sistemas orgânicos SOCO e SOCA. Alterações em relação ao período de coleta também foram observadas (Figura 9). Os resultados observados para acidez potencial foram compatíveis com os resultados de pH do solo, com valores significativamente maiores nos sistemas orgânicos (Figura 5).

Os resultados estão de acordo com os observados por Almeida et al. (2005) onde foram observados menores valores de acidez do solo no sistema de semeadura direta, comparado com o sistema convencional. Este comportamento indica o efeito do maior aporte e produção de compostos orgânicos nesse sistema.

Quanto ao teor de alumínio do solo, houve uma tendência de diminuição do teor de Al no decorrer do tempo nos sistemas orgânicos, em comparação com os convencionais, apesar de não significativa. Entre os sistemas de manejo, observou-se somente diferença significativa entre o tratamento testemunha absoluta, com maior teor de Al e o sistema orgânico SOCA, com menor teor (Figura 10). Entretanto, em relação aos períodos de coletas, não ocorreram alterações significativas entre os meses de estudos.

A ausência de diferenças significativas entre os sistemas de manejo, apesar das médias se apresentarem mais baixas nos sistemas orgânicos, pode ser devida ao alto coeficiente de variação encontrado nos dados relativos à este parâmetro.

Após dez anos de estudos, Pavinato, Merlin e Rosolem (2009) observaram que o sistema de semeadura direta apresentou menores concentrações de Al na camada superficial (0-5 cm), e no sistema convencional, os valores foram baixos em toda a camada arável. Andreola et al. (2000) apresentaram vários estudos demonstrando a redução dos teores de Al trocável no solo com o uso de esterco, atribuindo como principal causa a complexação do alumínio por agentes quelantes existentes nos materiais orgânicos. Desta forma, é de se esperar baixos níveis de Al em solo cultivado sob manejo orgânico, o que é desejável, especialmente pelo fato do alumínio

ser fitotóxico em altas concentrações e contribuir para a acidez potencial do solo em combinação com os íons H^+ (RONQUIM, 2010).

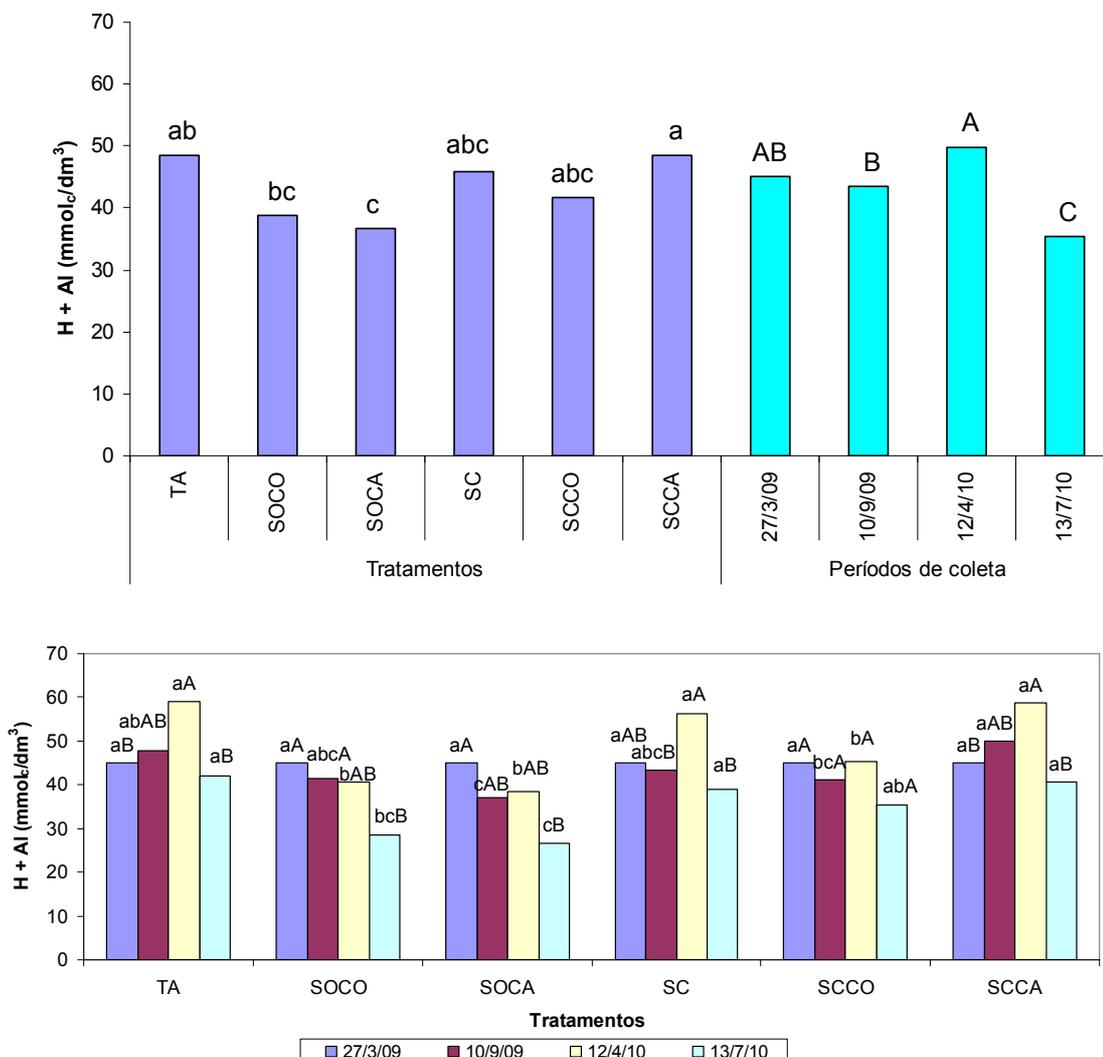


Figura 9. $H+Al$ ($mmol/dm^3$) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

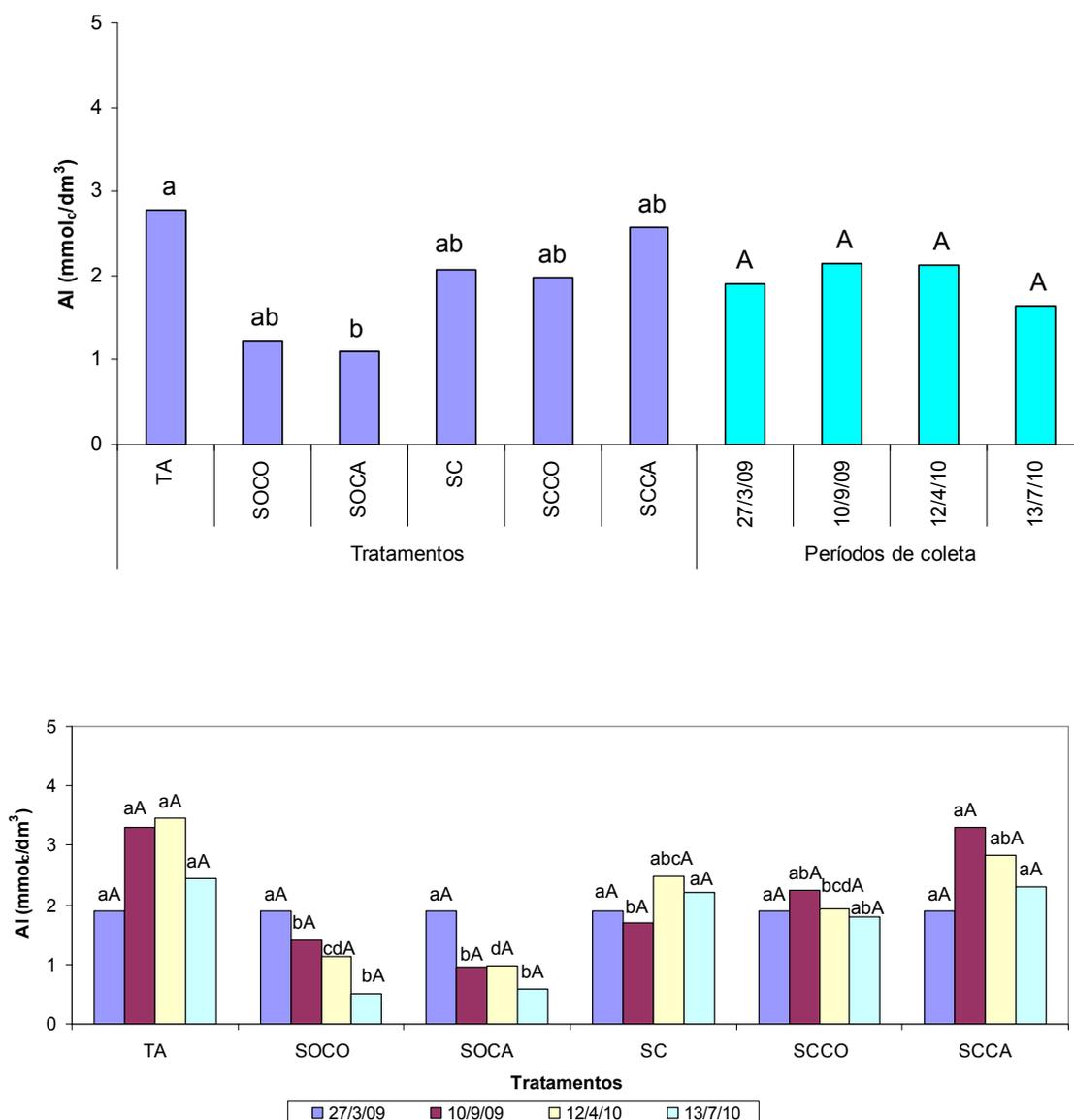


Figura 10. Al (mmol_c/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Entre os sistemas estudados, o tratamento orgânico SOCA foi o que apresentou maior valor de soma de bases, diferindo estatisticamente dos tratamentos SCCA e TA. Pode ser observado que os tratamentos SOCA e SOCO apresentaram uma acentuada elevação nos valores de SB assim como já ocorrido anteriormente em outras análises, atingindo os valores mais elevados em relação aos demais e mantendo-se assim até o final das observações (Figura 11).

Comparando-se entre as épocas, ocorreu um aumento nos valores de SB com a implantação da cultura, mas houve uma tendência à estabilização logo a seguir (Figura 11). A soma de bases é a soma dos teores de Ca, Mg e K, três importantes nutrientes para as plantas. Assim, quanto maior a soma de bases, maior a fertilidade do solo (SILVA et al., 2007b). Estes autores, em estudo sobre as alterações nas propriedades químicas e físicas de um solo com diferentes coberturas vegetais, observaram no atributo soma de bases um excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo.

Não houve diferença entre os tratamentos quanto à capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, porém houve diferença entre os períodos de coletas, sendo significativamente maior nas coletas de Setembro/09 e Abril/2010 (Figura 12).

Pavinato, Merlin e Rosolem (2009) não verificaram diferenças no teor de CTC entre o sistema convencional e plantio direto, o que pode ser atribuído à variável tempo, já que Ciotta (2001) verificou significativo incremento da CTC do solo após 20 anos de utilização de semeadura direta.

O sistema de cultivo mínimo aumentou os teores de matéria orgânica (PAIVA et al., 1996; PAVINATO; MERLIN; ROSOLEM, 2009) e a capacidade de troca catiônica (SOUZA; ALVES, 2003). Na área em estudo, o curto período de tempo analisado (8 meses) pode não ter sido suficiente para causar alteração nesse parâmetro.

A capacidade de troca de cátions (CTC) mede a capacidade do reservatório-solo em armazenar cálcio, magnésio, potássio, sódio, hidrogênio e alumínio. A CTC representa o poder de retenção (adsorção) dos nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um período prolongado de tempo

(SILVA et al., 2007b).

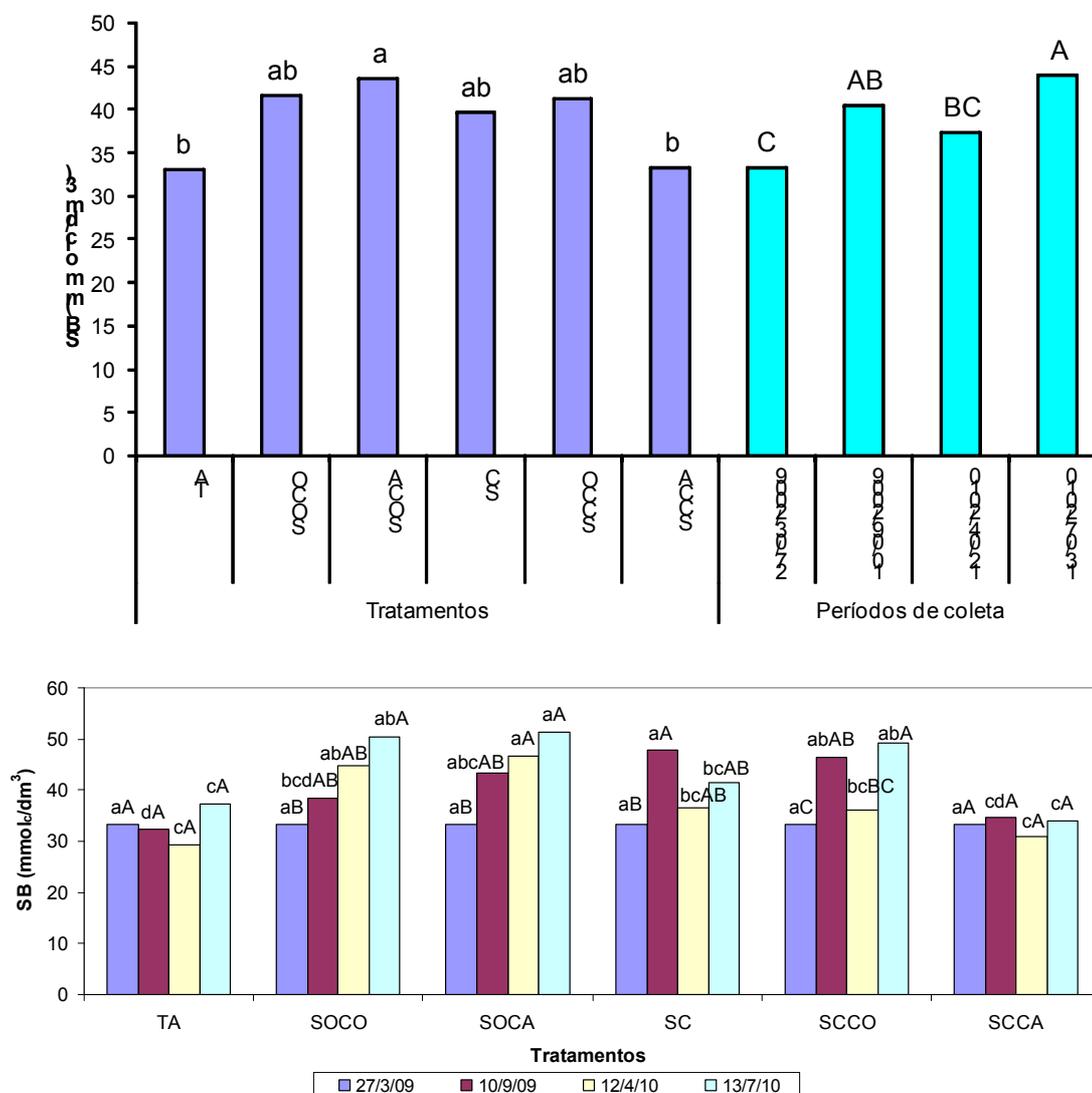


Figura 11. SB (mmol_c/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

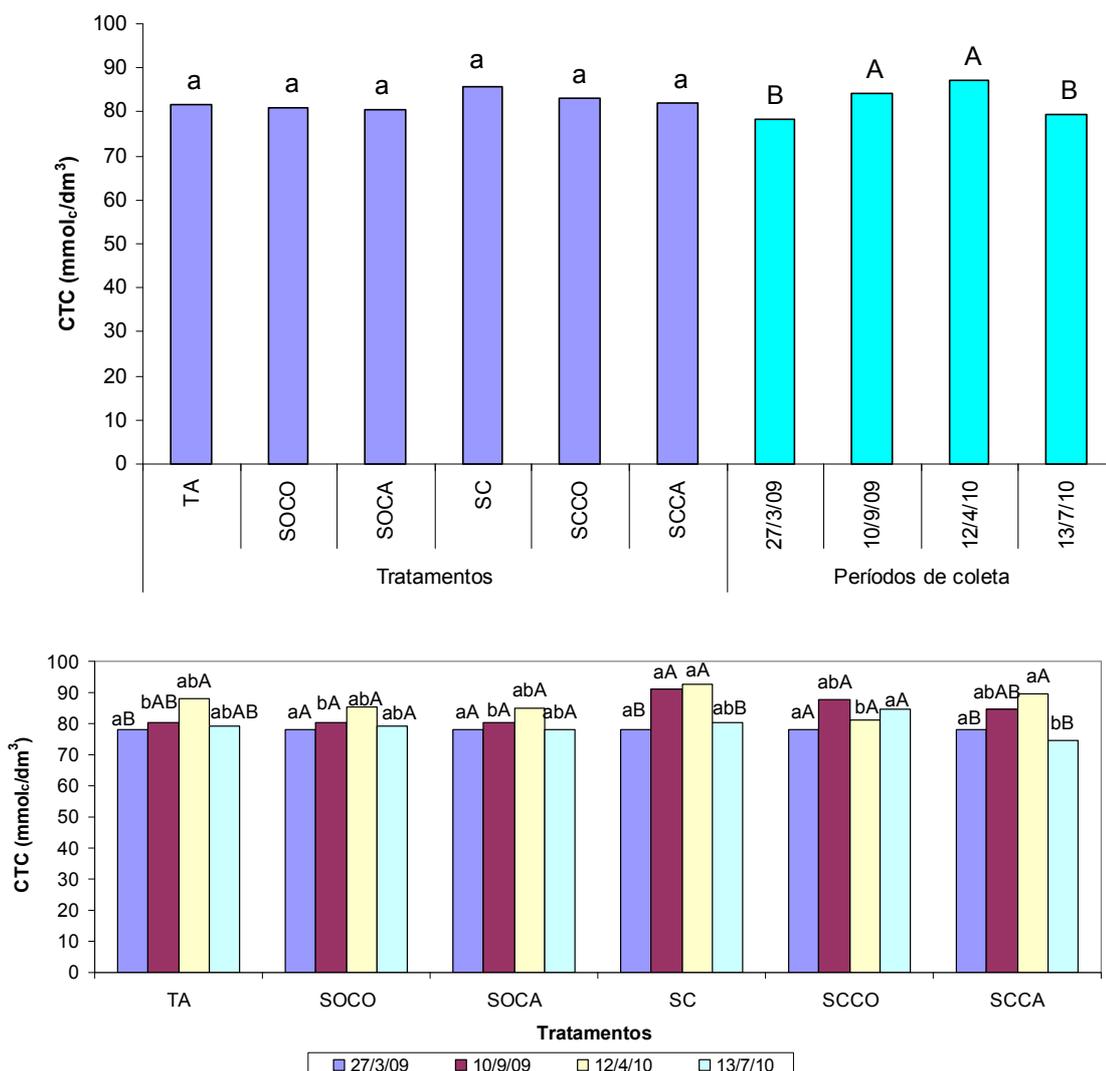


Figura 12. CTC (mmol_c/dm³) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O valor de V% (saturação de bases) é obtido pela divisão da Soma de Bases (SB) pela CTC (Capacidade de Troca de Cátions) e é empregado para definir a condição nutricional dos solos. Solos eutróficos apresentam V% \geq 50%, enquanto os distróficos apresentam V% $<$ 50% (RONQUIM, 2010). Os dados obtidos neste estudo para V% estão ilustrados na Figura 13.

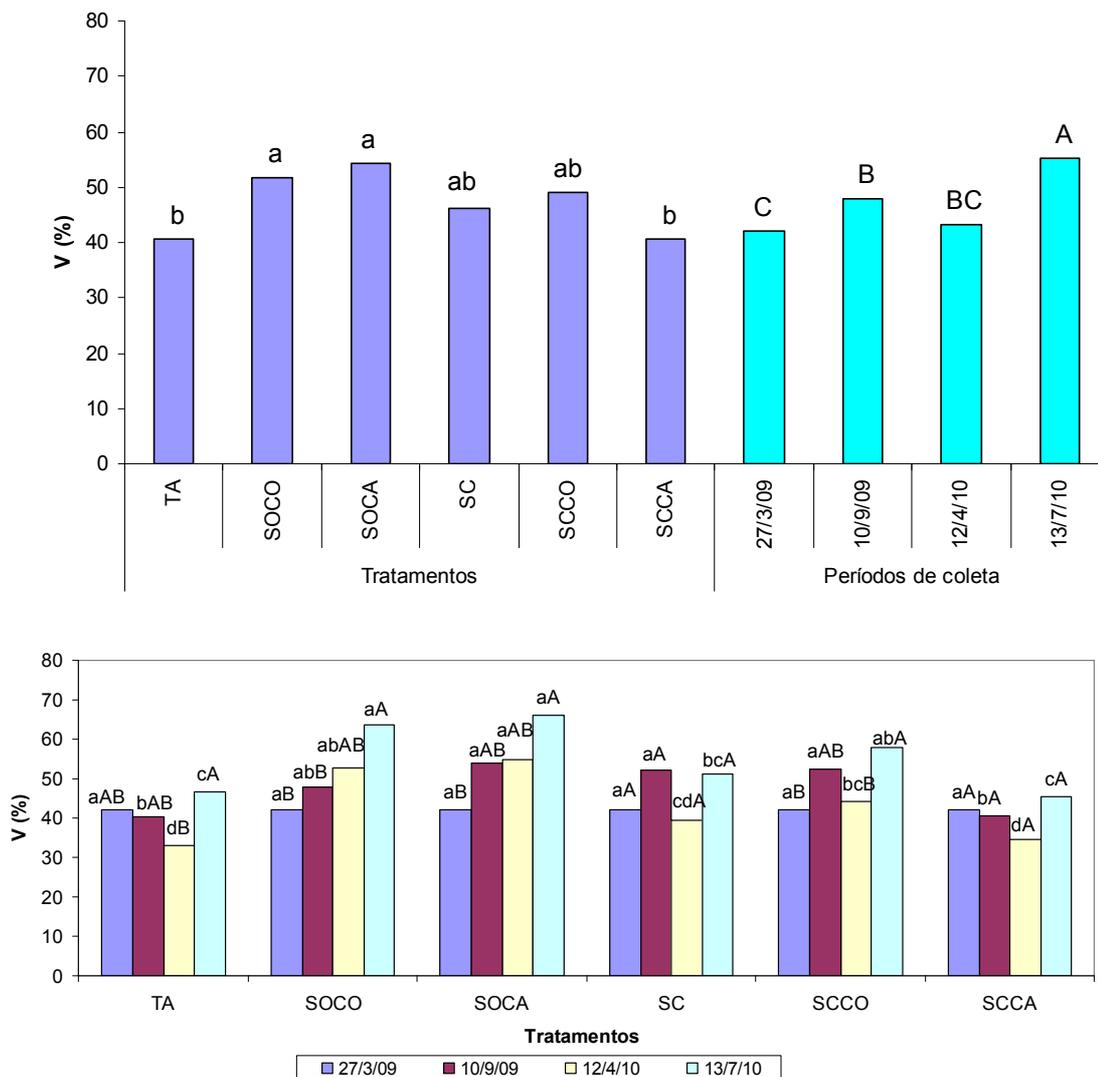


Figura 13. V (%) do solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional, em diferentes épocas de coleta.

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias com letras minúsculas e maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e períodos de coleta, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os valores de V% obtidos foram maiores nos tratamentos orgânicos SOCO e SOCA, sendo que nestes tratamentos foram observados valores acima de 65% em Julho/2010, destacando-se dos demais (Figura 13). Resultados obtidos por Santos (2010) em áreas sob cultivo orgânico mostraram valores superiores de V% em relação ao sistema convencional.

Houve diferença entre os períodos de coletas, sendo significativamente maior na coleta de Julho/2010 (Figura 13). A saturação por bases (V) é um excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo, sendo utilizada na classificação de solos como uma medida do eutrofismo (RONQUIM, 2010). Com base nos dados apresentados, observou-se a boa reserva química e o caráter eutrófico destes solos, ou seja, alta fertilidade natural, apresentando saturação por bases superior a 50%.

4.2 Atributos microbiológicos

4.2.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Entre os atributos microbiológicos estudados, não se observou diferenças significativas entre os tratamentos para o atributo carbono da biomassa microbiana (CBM) (Tabela 5). Os valores do CBM variaram de 209 a 963 $\mu\text{g C/g}$ solo, dentro da faixa observada por D'Andréa et al. (2002), 207,1 a 1310 $\mu\text{g CBM}$ em diferentes sistemas de manejo na região Sul do Estado de Goiás, área de domínio do bioma cerrado. De acordo com esses autores, sistemas orgânicos recém implantados (1 ano) dificilmente apresentam alterações significativas quanto ao acúmulo de carbono da biomassa microbiana. Esse fato pode explicar a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos orgânicos e convencionais no presente trabalho. A biomassa microbiana imobiliza mais carbono quando maior for a quantidade de matéria orgânica (VASCONCELLOS et al., 1999), porém não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto ao teor de matéria orgânica (Figura 4).

Tabela 5. Carbono da biomassa microbiana – CBM ($\mu\text{g C/g}$ solo) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.

Trat.	Épocas								Média
	brotação	perfilhamento	crescimento	crescimento	maturação	maturação	maturação	pós-colheita	
	Mai/09	Ago/09	Out/09	Dez/09	Fev/10	Abr/10	Jun/10	Set/10	
SC	298 aA	542 aA	689 aA	495 aA	646 aA	429 abA	344 aA	700 aA	518 a
TA	294 aA	337 aA	774 aA	398 aA	607 aA	456 abA	387 aA	561 aA	477 a
SOCO	313 aAB	573 aAB	932 aA	662 aA	634 aAB	317 abB	437 aAB	847 aA	589 a
SOCA	209 aB	650 aAB	963 aA	398 aAB	727 aAB	518 aAB	371 aAB	785 aAB	578 a
SCCA	368 aABC	696 aA	894 aA	847 aA	542 aAB	313 aB	418 aBC	692 aAB	596 a
SCCO	267 aA	723 aA	534 aA	820 aA	557 aA	251 abB	406 aA	828 aA	548 a
Média	241 B	587 A	798 A	603 A	619 A	381 B	394 B	736 A	

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Além disto, resultados mostraram que o composto Visafertil® apresenta baixa relação C/N (aproximadamente 10/1, Tabela 2), o que poderia ser uma causa do pouco acúmulo de carbono. Porém, é possível esperar que, com o decorrer do tempo de cultivo, plantios orgânicos apresentem aumento nos valores de CBM.

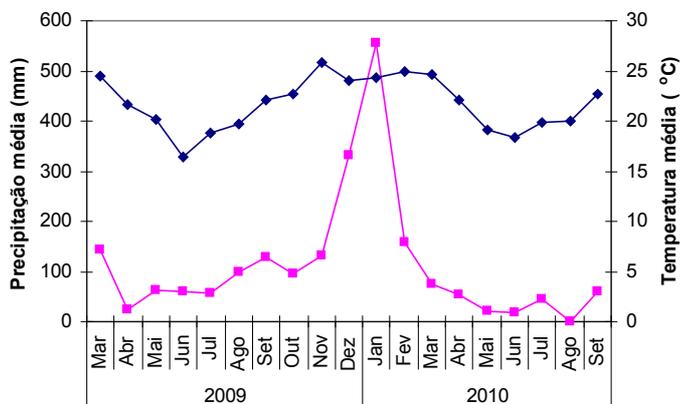
Comparando as médias dos tratamentos nas épocas de amostragens, pode-se observar que maiores valores foram obtidos nos meses de Agosto/09, Outubro/09, Dezembro/09 e Fevereiro/10, correspondentes às épocas de crescimento e início de maturação da cana de açúcar. Além disto, foram períodos com elevação no nível pluviométrico (Figura 14). No mês de Setembro/10 também verificou-se valor significativamente maior de CBM, o qual coincidiu com o período de pós-colheita da cana de açúcar (Tabela 5). Restos culturais abundantes, facilmente mineralizáveis, e elevada pluviosidade no período podem ter proporcionado substrato para o acúmulo de biomassa microbiana.

Os menores valores foram observados nos períodos de seca nos meses de Maio/09, Abril e Junho/10. Fatores como temperatura, umidade e desenvolvimento da cultura podem influenciar a microbiota do solo, resultando em maiores ou menores teores de CBM (BALOTA et al., 1998; D'ANDRÉA et al., 2002).

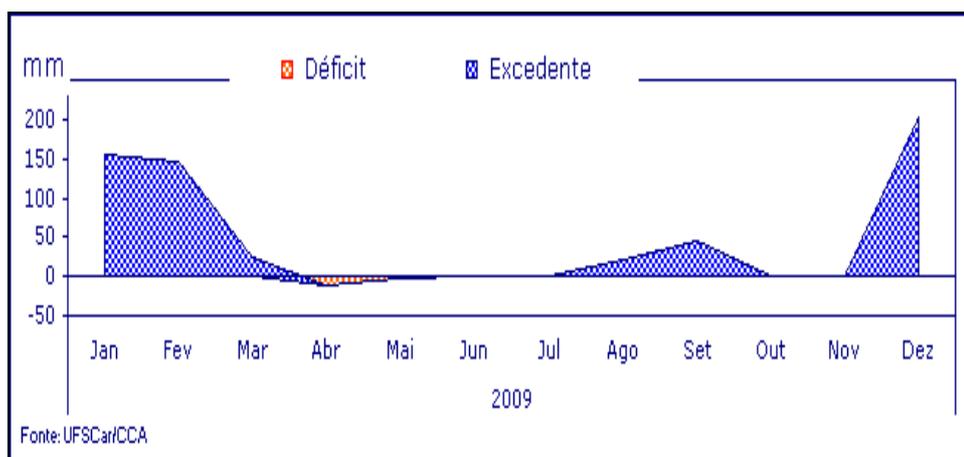
O parâmetro carbono da biomassa microbiana foi mais influenciado pelas épocas de coletas, provavelmente pela precipitação pluviométrica, disponibilidade de substrato e estádios fenológicos da cana-de-açúcar do que pelos diferentes sistemas de manejo (orgânico e convencional).

4.2.2 Respiração Basal (RB)

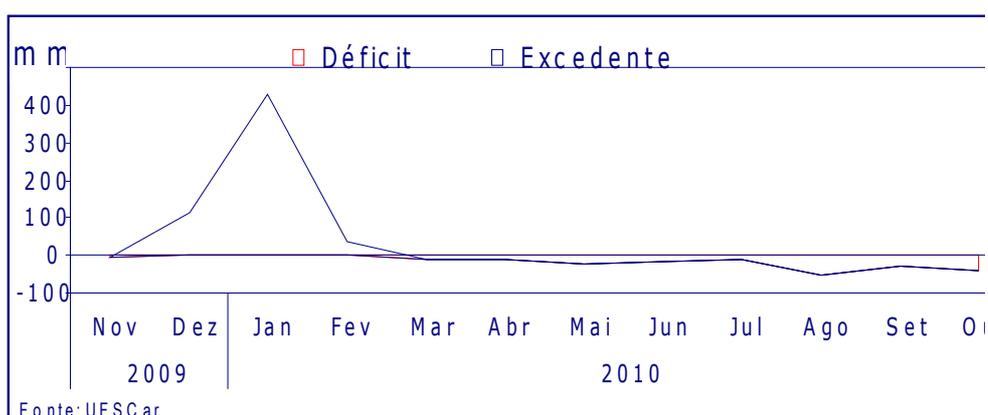
A respiração do solo, que reflete a atividade da microbiota responsável pela degradação de compostos orgânicos, apresentou resultados variando de 41 a 237 $\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}/\text{dia}$ (Tabela 6).



A



B



C

Figura 14. A. Termopluviograma com base em dados de precipitação (—■—) e temperatura do ar (—◆—) obtidos no posto meteorológico localizado no Centro de Ciências Agrárias – UFSCar – *Campus* de Araras. Balanço hídrico, pelo método de Thornthwaite-Mather, para 100 mm de capacidade de armazenamento, no período de Janeiro a Dezembro/2009 (B) e de Novembro/2009 a Outubro/2010 (C).

Tabela 6. Respiração basal - RB ($\mu\text{g CO}_2/\text{g solo}/\text{dia}$) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.

Trat.	Épocas									
	brotação	perfilhamento	crescimento		crescimento	maturação	maturação	maturação	pós-colheita	Média
	Mai/09	Ago/09	Out/09	Dez/09	Fev/10	Abr/10	Jun/10	Set/10		
SC	41 cC	127 abAB	79 bABC	103 aAB	132 aAB	73 aBC	47 aC	139 aA	92 b	
TA	42 cB	138 abA	96 abA	128 aA	130 aA	61 aB	69 aAB	128 aA	99 ab	
SOCO	106 abABC	175 abA	148 abAB	147 aAB	134 aAB	86 aBC	56 aC	148 aAB	125 a	
SOCA	124 aABC	237 aA	82 bBC	151 aAB	134 aABC	82 aBC	73 aC	133 aABC	127 a	
SCCA	59 bcC	88 bABC	193 aA	166 aA	126 aAB	61 aC	66 aBC	141 aAB	112 ab	
SCCO	43 bcC	99 bAB	86 abABC	116 aA	127 aA	64 aBC	63 aABC	127 aA	91 b	
Média	69 B	144 A	114 A	135 A	131 A	71 B	62 B	136 A		

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com base nos resultados verificou-se que maiores níveis de CO₂ ocorreram nos sistemas orgânicos, SOCO e SOCA, fato observado principalmente nas primeiras coletas de solo (Maio e Agosto/09). Este resultado pode estar correlacionado à incorporação do composto orgânico, o qual provavelmente estimulou a atividade microbiana, liberando CO₂. No mês de Outubro/09, observou-se diferença significativa para os valores de CO₂ apenas entre o tratamento orgânico SOCA e o convencional SCCA, este com maior liberação de CO₂. A partir do mês de Dezembro/09, todos os tratamentos apresentaram liberação de CO₂ semelhante, permanecendo assim até o final das coletas.

Os valores de liberação de CO₂ do solo nas diferentes épocas de amostragem diferiram significativamente, sendo que nos meses com maior disponibilidade de água e maior incidência de radiação solar e temperatura (calor), houve maior liberação de CO₂ do solo, fato verificado também com o carbono da biomassa microbiana.

Assim, taxas de CBM e emissão de CO₂ são influenciadas pelas variáveis do solo, como temperatura e umidade (BALOTA et al., 1998). Segundo Santos e Camargo (1999), dentre as variáveis climáticas, a precipitação pluviométrica e a temperatura são as que exercem maior influência sobre a microbiota.

Muito provavelmente o alto valor de CO₂ liberado nos sistemas orgânicos especialmente nos meses iniciais de implantação do experimento (Maio/09 a Outubro/09) foi devido à incorporação do composto orgânico, favorecendo a maior atividade biológica. Depois ocorreu uma estabilização nos sistemas orgânico e convencional. Sampaio et al. (2008) verificaram que a adoção do sistema orgânico para o cultivo de frutas aumentou a atividade microbiana e o conteúdo de carbono orgânico do solo, mostrando os benefícios deste sistema agrícola. Ainda de acordo com Siqueira et al. (1994), a taxa de CO₂ liberada está diretamente relacionada à decomposição da matéria orgânica e mineralização do húmus.

4.2.3 Quociente metabólico (qCO₂)

Foram observadas diferenças entre os meses de coleta, porém os valores de qCO₂ não diferiram entre os diferentes tratamentos (Tabela 7). Embora não tenha sido observada diferença significativa, os maiores valores de QM foram verificados no sistema convencional. Os resultados aqui apresentados são similares aos encontrados no trabalho de D'Andréa et al. (2002), que por sua vez, não encontraram diferenças significativas nos valores de qCO₂ entre cerrado nativo, pastagem e sistemas agrícolas sob preparo convencional e semeadura direta.

O quociente metabólico (qCO₂) é o resultado da razão entre o CO₂ liberado e o CBM. Segundo Islam e Weil (2000), a respiração basal por unidade de biomassa microbiana diminui em agroecossistemas mais estáveis. Com a melhoria da qualidade do solo o quociente metabólico diminui, ou seja, o qCO₂ é negativamente correlacionado com a qualidade do solo sendo, portanto, um indicador do seu estresse, distúrbio ou desequilíbrio funcional (ISLAM; WEIL, 2000).

No sistema convencional, ocorre rompimento dos macro e microagregados e, conseqüentemente, isto torna a matéria orgânica mais suscetível ao ataque microbiano, o que aumenta a taxa de mineralização e liberação de CO₂ para a atmosfera (SIX et al., 2000; SILVA et al., 2007a) observaram maior qCO₂ no solo sob preparo convencional do que em semeadura direta.

4.2.4 Contagem de microrganismos

As populações de fungos nos sistemas orgânicos SOCO e SOCA apresentaram diferença significativa entre as médias dos demais sistemas de manejo principalmente nos primeiros meses de implantação do experimento. No mês de Maio/2009 os sistemas orgânicos (SOCO e SOCA) apresentaram diferença significativa em relação ao sistema de manejo convencional (SCCO).

Tabela 7. Quociente metabólico – qCO₂ (µg C-CO₂/µg CBM/hora) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.

Trat.	Épocas								Média
	brotação	perfilhamento	crescimento	crescimento	maturação	maturação	maturação	pós-colheita	
	Mai/09	Ago/09	Out/09	Dez/09	Fev/10	Abr/10	Jun/10	Set/10	
SC	0,010 aA	0,010 aA	0,004 aA	0,008 aA	0,008 aA	0,007 bA	0,012 abA	0,020 aA	0,009 a
TA	0,010 aA	0,020 aA	0,005 aA	0,015 aA	0,009 aA	0,004 bA	0,021 abA	0,020 aA	0,013 a
SOCO	0,020 aA	0,010 aA	0,006 aA	0,009 aA	0,009 aA	0,047 abA	0,005 bA	0,010 aA	0,014 a
SOCA	0,030 aA	0,020 aA	0,004 aA	0,023 aA	0,007 aA	0,007 bA	0,011 abA	0,010 aA	0,014 a
SCCA	0,010 aB	0,010 aB	0,009 aB	0,008 aB	0,009 aB	0,117 aA	0,079 aA	0,010 aB	0,031 a
SCCO	0,010 aA	0,010 aA	0,006 aA	0,005 aA	0,009 aA	0,019 bA	0,01 abA	0,001 aA	0,009 a
Média	0,015 AB	0,013 AB	0,005 B	0,011 AB	0,008 AB	0,033 A	0,023 A	0,013 AB	

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No mês de Agosto/2009, na fase da formação dos perfilhos da cana de açúcar, os sistemas orgânicos se mantiveram com maior UFC de fungos, sendo que no sistema orgânico SOCA os valores foram significativamente superiores aos dos sistemas convencionais (SCCO e SCCA) e da testemunha absoluta (TA). No entanto, ao longo das avaliações esse comportamento não se manteve e o número de colônias de fungos diminuiu, não apresentando diferenças significativas em relação aos demais sistemas, exceto na coleta realizada no mês de junho /2010 para o sistema SOCO, este, apresentando maior número de UFC em relação ao sistema convencional SCCO (Tabela 8).

Na média geral foi observado que os sistemas orgânicos apresentaram maiores valores de UFC de fungos diferindo significativamente do sistema convencional SCCO. Todos os sistemas se comportaram igualmente durante o período estudado, mesmo se comparando com a testemunha absoluta.

Esses resultados parecem indicar que, excetuando um pequeno incremento não duradouro na população microbiana de fungos pela ação dos componentes dos sistemas orgânicos SOCO e SOCA, o solo da área experimental estava estabilizado. Observa-se também que os tratamentos estudados não foram capazes de alterar essa situação.

Entretanto essas observações não são suficientes para afirmar que o ambiente em estudo apresenta uma biota fúngica estável ou se o resultado observado foi consequência do método escolhido para aplicar os tratamentos, dirigidos apenas para os sulcos de plantio e não em área total, portanto insuficientes para causar mudanças detectáveis experimentalmente.

Foram observadas, porém, algumas diferenças significativas entre os meses de coletas. Os maiores valores de UFC de fungos foram obtidos em Maio/09, Agosto/09, Junho/10 e Setembro/10. Assim sendo, esses resultados parecem indicar que as condições climáticas ou o efeito da rizosfera da cultura nos diferentes períodos do desenvolvimento ou a interação de ambos, foram mais influentes na população de fungos que os diferentes tratamentos estudados.

Tabela 8. Número de fungos X 10³ (UFC/g) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.

Trat.	Épocas								Média
	brotação	perfilhamento	crescimento	crescimento	maturação	maturação	maturação	pós-colheita	
	Mai/09	Ago/09	Out/09	Dez/09	Fev/10	Abr/10	Jun/10	Set/10	
SC	9 abA	5 abcAB	3 aB	3 aAB	3 aAB	5 aAB	10 abA	6 aAB	6 ab
TA	6 abAB	3 cAB	3 aB	3 aAB	3 aAB	4 aAB	7 abA	8 aA	5 ab
SOCO	10 aAB	11 abAB	4 aC	3 aBC	3 aC	4 aABC	11 aA	7 aABC	7 a
SOCA	9 aAB	15 aA	4 aBC	4 aBC	4 aBC	3 aC	6 abABC	7 aABC	7 a
SCCA	5 abAB	4 bcAB	4 aAB	3 aB	2 aB	5 aAB	5 abAB	8 aA	5 ab
SCCO	3 bA	4 bcA	3 aA	3 aA	3 aA	3 aA	4 bA	5 aA	4 b
Médias	7 A	7 AB	4 C	3 C	3 C	4 BC	7 A	7 A	

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao número de bactérias, pode-se observar que não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos. Da mesma forma que para os fungos, foram observadas diferenças significativas em razão dos meses de coleta, sendo os maiores números de UFC de bactérias observados nos primeiros meses do experimento. Nas demais épocas estudadas, os valores de UFC reduziram em todos os tratamentos até o final do experimento; em Abril/2010 o tratamento SC apresentou uma queda de atividade anormal pelo padrão geral observado, e houve uma exceção para um pico isolado ocorrido no mês de Junho/2010 no tratamento SOCA (Tabela 9).

É razoável, portanto deduzir que os fatores que determinaram o comportamento das populações de fungos causam efeitos parecidos em bactérias. A biota microbiana do solo pareceu responder aos fatores clima/rizosfera e não aos tratamentos estudados.

4.3 Atributos químicos e microbiológicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas orgânicos e convencionais cultivados com cana-de-açúcar

É sabido que os sistemas de manejo, com diferenças no revolvimento do solo e na composição dos resíduos vegetais, alteram as propriedades biológicas do solo, com reflexos sobre a qualidade e produtividade das culturas (VARGAS; SCHOLLES, 2000). Na agricultura, é necessário dispor de indicadores de qualidade que sejam sensíveis às mudanças provocadas pelo manejo do solo, procurando por aqueles que reflitam a robustez da vida do solo e o seu grau de perturbação (DE-POLLI; GUERRA, 1996). Nogueira et al. (2006) utilizaram vinte e quatro propriedades químicas e microbiológicas e seus derivativos para acessar a qualidade do solo sob diferentes sistemas de utilização, verificando que os atributos carbono orgânico total, biomassa microbiana de carbono e nitrogênio e taxa de amonificação foram as variáveis que mais mostraram dissimilaridade entre os locais.

Tabela 9. Número de bactérias X 10⁵ (UFC/g) de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejos orgânico e convencional em diferentes épocas de coleta.

Trat.	Épocas								Média
	brotação	perfilhamento	crescimento	crescimento	maturação	maturação	maturação	pós-colheita	
	Mai/09	Ago/09	Out/09	Dez/09	Fev/10	Abr/10	Jun/10	Set/10	
SC	82 aA	120 aA	26 aA	38 aAB	26 aAB	9 aAB	35 aA	2 aB	42 a
TA	44 aAB	188 aA	19 aAB	16 aAB	36 aAB	28 aAB	18 aAB	9 aB	45 a
SOCO	88 aAB	242 aA	14 aBC	58 aABC	44 aABC	46 aABC	55 aABC	5 aC	69 a
SOCA	102 aAB	186 aA	50 aABC	51 aABC	31 aABC	12 aBC	178 aA	11 aC	78 a
SCCA	154 aA	151 aAB	30 aAB	36 aAB	18 aAB	14 aAB	28 aAB	16 aB	56 a
SCCO	39 aA	77 aA	10 aA	20 aA	16 aA	32 aA	37 aA	7 aA	30 a
Médias	85 AB	161 A	25 C	37 BC	29 C	24 C	59 ABC	8 D	

TA - Testemunha Absoluta; SOCO - Sistema Orgânico utilizando Corretivo e Composto; SOCA - Sistema Orgânico utilizando Calcário e Composto; SC - Sistema Convencional com calcário e adubos minerais; SCCO - Sistema Convencional com Corretivo e adubos minerais; SCCA - Sistema Convencional sem Calcário mas com adubos minerais.

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No presente trabalho, foram utilizados dez atributos químicos e cinco atributos microbiológicos para verificar o efeito do sistema convencional e orgânico sobre a qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar. Entre os parâmetros químicos que mais mostraram as alterações no solo provocadas pelo manejo estão o pH, magnésio, acidez potencial, soma de bases e V%. Valores mais elevados obtidos com estes dois últimos parâmetros nos sistemas orgânicos com adição de composto e calcário (SOCA) ou composto e corretivo (SOCO), especialmente, indicam fertilidade do solo e solos eutróficos. Estes parâmetros foram sensíveis para detectar as alterações ocorridas no ambiente solo devido ao manejo.

Entre os parâmetros microbiológicos estudados, a respiração basal mostrou-se significativamente diferente e superior nos tratamentos orgânicos em relação aos convencionais, assim como o número de fungos, porém ocorreu uma estabilização nos valores ao longo do tempo. De qualquer forma, foram dois indicadores importantes das alterações ocorridas em decorrência do manejo, pois houve uma resposta pronta à adição de composto e corretivo orgânicos no solo. Vale lembrar que o parâmetro matéria orgânica não apresentou diferenças entre os tratamentos estudados dentro do período de tempo estudado.

Resultados de Araújo, Santos e Monteiro (2008) indicaram também que as práticas orgânicas melhoraram rapidamente as características microbianas do solo e aumentaram lentamente o carbono orgânico do solo, em cultivo de acerola.

Em estudo de avaliação do efeito do sistema de plantio direto e da rotação de culturas, Ferreira et al. (2010) verificaram que o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico e a relação entre carbono microbiano/carbono orgânico foram eficientes para determinar diferenças entre os sistemas sem plantio direto e com plantio direto, mas somente a biomassa microbiana de carbono e o quociente metabólico foram adequados para identificar diferenças significativas entre os sistemas de rotação de culturas.

Trabalho de Freitas et al. (2011) em solo de vinhedos mostrou que o manejo orgânico ocasionou um aumento em todas as variáveis de solo, com exceção da respiração basal e quociente metabólico. Houve um aumento da micorrização e da atividade microbiana geral do solo.

Segundo trabalho de Cunha et al. (2011), as principais alterações nos atributos biológicos com o uso agrícola ocorreram na camada superficial, onde, de maneira geral, os valores de CBM foram menores que no solo sob mata, sendo esse fato mais pronunciado nas áreas sob manejo convencional. O qCO_2 mostrou-se sensível às alterações decorrentes do preparo do solo.

O desenvolvimento de uma agricultura sustentável exige a seleção de indicadores capazes de atestar o estado geral da qualidade dos agroecossistemas, possibilitando uma avaliação das práticas de manejo aplicadas ao solo (XAVIER et al., 2005). No entanto, o resultado da aplicação de diferentes sistemas de manejo não é sempre visto em curto período de tempo, seja na qualidade do solo como na produtividade da cultura. No presente trabalho, não foram observadas diferenças na produtividade da cana-de-açúcar após a primeira safra nos diversos tratamentos (variando de 105,54 a 172,81 toneladas de cana/ha), com exceção da testemunha absoluta em relação ao tratamento SOCA, diferentes estatisticamente (dados não publicados). Este é um resultado importante considerando-se a importância da cultura da cana para a economia do país e a viabilidade de emprego dos sistemas orgânicos, não somente ambiental como também econômica. Devido ao curto período de implantação dos sistemas experimentais, não é possível ainda afirmar que os tratamentos estudados, da forma como foram aplicados no solo, tenham influenciado a atividade da biota microbiana do solo a ponto de apontá-la como co-responsável pelos incrementos agrícolas obtidos neste experimento. Porém o conjunto de atributos estudados apontou que houve uma melhoria na qualidade do solo, que irá provavelmente influir na produtividade da cultura a médio e longo prazo.

5 CONCLUSÕES

- Entre os parâmetros químicos que mais mostraram as alterações no solo provocadas pelo manejo estão o pH, magnésio, acidez potencial, soma de bases e V%. Valores mais elevados obtidos com estes dois últimos parâmetros nos sistemas orgânicos com adição de composto e calcário (SOCA) ou composto e corretivo (SOCO), especialmente, indicam fertilidade do solo;
- entre os parâmetros microbiológicos estudados, a respiração basal mostrou-se significativamente diferente e superior nos tratamentos orgânicos em relação aos convencionais, assim como o número de fungos, porém ocorreu uma estabilização nos valores ao longo do tempo;
- o sistema orgânico de cultivo da cana-de-açúcar alterou a qualidade do solo, refletindo prontamente na atividade microbiana.

6 LITERATURA CITADA

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic, 1995. p. 464-470.

ALMEIDA, J.M.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN Jr., W.A. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29. p.437-445, 2005.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592p.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.25, p.393-395, 1993.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, n.4, p.867-874, 2000.

ARAUJO, A.S.F.; MELO, W.J. Soil microbial biomass in organic farming system. **Ciência Rural**, v. 40, n.11, p. 2419-2426, 2010.

ARAUJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.; MONTEIRO, R.T.R. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. **Eur. J. Soil Biology**, v.44, n.2, p.225-230, 2008.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BARBOSA, L.A. **Impactos de sistema de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar nos atributos do solo**. 2010. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2010.

BATISTA, F.; KANDELER, E.; MORENO, J. L.; ROS, M; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. **Appl. Soil Ecol.**, v.40, n.2, p.318-329, 2008.

BRANDÃO, E.M. **Os componentes da comunidade microbiana do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.1-15.

BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 dez. 2003: define o que é e quais são as finalidades dos sistemas orgânicos de produção. Diário Oficial, Seção I, Brasília, 24 dez. 2003, p. 11399.

BRUGNARO, C. Análise de variância e teste Tukey. Disponível em: <www.ufscar.br/servicos/tukey>. Acesso em 11 Fevereiro de 2010 .

BUNEMANN, E.K.; SCHWENKE, G.D.; VAN ZWIETEN, L. Impact of agricultural inputs on soil organisms – a review. **Austral. J. Soil Res.**, v. 44, p.379-406, 2006.

CANABRAVA, A.P. **História econômica: estudo e pesquisas**. São Paulo: UNESP, 2005. 320p.

CAPORAL, F.R.; COSTABEBER, J.A. **Agroecologia: alguns conceitos e princípios**. Brasília, MDA/SAF/DATER – IICA, 2004. 24p.

CARVALHO, A.M.X.; VALE, H.M.M.; FERREIRA, E.M.; CORDERO, A.F.P.; BARROS, N.F.; COSTA, M.D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **R. Bras. Ci. Solo**, (número especial), v.32, p.2709-2716, 2008.

CHAVES, L.H.G.; TITO, G.A.; CHAVES, I.B.; LUNA, J.G.; SILVA P.C.M. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.431-437, 2004.

CIOTTA, M.N. **Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos de calagem em experimento de longa duração**. 2001. 102f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2001.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em 28 setembro 2011.

CONCEIÇÃO, P.C. **Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo do solo**. 2002. 125f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia) - Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

CORREA, R. S.; WHITE, R.E.; WEATHERLEY, A.J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. **Scientia Agricola**, v.62, n.3, p.274-280, 2005.

CRECCHIO, C.; GELSOMINO, A.; AMBROSOLI, R.; MINATTI, J.L.; RUGGIERO, P. Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. **Soil Biol. Biochem.**, v.36, p.1873-1883, 2004.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - atributos biológicos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.35, n.2, p.603-611, 2011.

D'ANDREA, A.F.D.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 913-923, 2002.

DAROLT, M.R. **Agricultura orgânica: inventando o futuro**. Londrina: IAPAR, 2002. 250p.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Biomassa microbiana: perspectiva para o seu uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, E.M.P.F. (Ed.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.551-564.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.389-411.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B.A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p.3-21.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª. Ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, E.P.B.; SANTOS, H.P.; COSTA, J.R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N.G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Rev. Cienc. Agron.**, v.41, n.2, 2010.

FREITAS, N.O.; YANO-MELO, A.M.; SILVA, F.S.B.; MELO, N.F.; MAIA, L.C. Soil biochemistry and microbial activity in vineyards under conventional and organic management at Northeast Brazil. **Scientia Agricola**, v.68, n.2, p.223-229, 2011.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Ed. Gênese, 1999. p.227-243.

GRISI, B.M.; GRAY, T.R.G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.10, p.109-115, 1986.

HUNT, J.; BODDY, L.; RANDERSON, H.J.; ROGERS, H.J. An evaluation of 18S rDNA. approaches for the study of fungal diversity in grassland soils.

Microb. Ecol., v.47, n.4, p.385-395, 2004.

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

JAMES, G. Introduction to sugarcane. In: JAMES, G. **Sugarcane**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2003. p.1-19.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Decker, 1981. p.415-471.

JOHNSEN, K.; JACOBSEN, C.S.; TORSVIK, V.; SOREBSEN, J. Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils – a review. **Biol. Fertil. Soils**, v.33, p.443-453, 2001.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biol. Biochem.**, v.42, p.1–13, 2010.

KOHLER, J.; CARAVACA, F.; AGUACIL, M. M; ROLDÀN, A. Elevated CO₂ increases the effect of an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant-growth-promoting rhizobacterium on structural stability of a semiarid agricultural soil under drought conditions. **Soil Biol. Biochem.**, v.41, p.1710-1716, 2009.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 12., Bangkok, 1991. v.2.

MACHADO, L.A.; HABIB, M. Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil. Disponível em:

<http://infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/index.htm>. Acesso em 28 novembro 2010.

MACHADO, R. **Sistemas de produção orgânico para soca da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*), consorciado com milho (*Zea mays*), Feijão (*Phaseolus vulgaris*) e mandioca (*Manihot esculenta*)**. 2008. 83f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e desenvolvimento Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2008.

MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafós, 1987. p.13-118.

MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; AMARANTE, C.V.T. ; KLAUBERG-FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.41, p.531-1539, 2006.

MAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG0118_3112006152934.html> Acesso em 23 setembro 2011.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729p.

NOGUEIRA, M.A.; ALBINO, U.B.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M.F.; DIAS, B.A.; DUARTE, R.T.D.; GIOPPO, N.M.R.; MENNA, P.; ORLANDI, J.M.; RAIMAM, M.P.; RAMPAZO, L.G.L.; SANTOS, M.A.; SILVA, M.E.Z.; VIEIRA, F.P.; TOREZAN, J.M.D.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, G. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural,

reforested and agricultural land use in Southern Brazil. **Agric. Ecos. Environ.**, v.115, n.1-4, p.237-247, 2006.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v.164, p.262-270, 1969.

OLIVEIRA, F.R.A. **Sustentabilidade e qualidade do solo em propriedades de cana-de-açúcar orgânica e convencional**. 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e desenvolvimento Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2008.

ORMOND, J.G.P.; PAULA, S.R.L.; FAVERET FILHO P.; ROCHA, L.T.M. Agricultura orgânica: quando o passado é futuro. **BNDE Setorial**, n. 15, p.3-34, 2002.

PAIVA, P.J.R.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.20, p.71-75, 1996.

PASCUAL, J.A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; MORENO, J.L.; ROS, M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. **Soil Biol. Biochem.**, v.32, p.877-1883, 2000.

PAVINATO, S.P.; MERLIN A.; ROSOLEM, S.A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p.1031-1040, 2009.

PENTEADO, S.R. **Introdução à agricultura orgânica**. Campinas: Grafimagem, 2000. 110p.

PRADO R.M.; NATALE W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.39,

n.10, p.1007-1012, 2004.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 541p.

RIOSVIVOS. Disponível em: <<http://www.riosvivos.org.br/>> Acesso em 15 novembro 2010.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SAMPAIO, D.B.; ARAUJO, A.S.F.; SANTOS, V.B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Cienc. Agrotecnol.**, v.32, n.2, p.353-359, 2008.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.389-411.

SANTOS, V.B. **Atributos de solo sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional em transição e orgânico no Norte do estado do Piauí**. 2010. 120f. Tese (Doutor em Agronomia) – UNESP - Campus de Jaboticabal, 2010.

SILVA, M.B.; KLIEMANN, H.J.; SILVEIRA, P.M.; LANNA, A.C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.42, p.1755-1761, 2007a.

SILVA, R.C.; PEREIRA, J.M.; QUINTINO, R.A.; PIRES, A.J.V.; REI, A.J.D. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **R. Bras. C. Solo**, v.31, n.1, p.101-107, 2007b.

SILVEIRA, M.M.L. **Fracionamento seqüencial de fósforo em solos do semi-árido nordestino**. 2000, 61f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - UFRPE, Recife, 2000.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Embrapa, Brasília, 1994. 142p.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E.T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.64, p.681-689, 2000.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **R. Bras. C. Solo**, v.27, n.1, p.133-139, 2003.

SPARLING, G.P.; WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration *in situ* using microbial respiration and ¹⁴C labeled cells. **Soil Biol. Biochem.**, v.20, p.337-343, 1988.

SUGARCANECROPS. Disponível em:
http://www.sugarcane crops.com/p/crop_growth_phases>. Acesso em 30 setembro 2011.

STENBERG, B. Monitoring soil of arable land: microbiological indicators. **Acta Agric. Scand. Section B-Soil and Plant Science**, v.49, n.1, p.1-4, 1999.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. H; SCHAEFER, C. E.G.R; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276. v. 2.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007.

TU, C.; RISTAINO, J.B.; HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biol. Biochem.**, v.38, p.247-255, 2006.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem.**, v.19, p.703-707, 1987.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.35-42, 2000.

VASCONCELLOS, C. A.; CAMPOLINA, D. C. A.; SANTOS, F. G.; EXEL PITTA, G.V.; MARRIEL, I. E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.69-76, 1999

VIAORGÂNICA. Disponível em: <<http://www.viaorganica.com.br/>>. Acesso em 15 novembro 2010.

VISAFERTIL. Disponível em: <<http://www.visafertil.com.br/processo-fabricacao.php>> Acesso em 12 junho 2011.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p.419-436.

WOLLUM, A.G. Cultural methods for soil microorganisms. In: MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.781-802.

XAVIER, G.R.; ZILLI, J.E.; SILVA, F.V.; SALLES, J.F.; RUMJANEK, N.G. O papel da ecologia microbiana e da qualidade do solo na sustentabilidade dos agroecossistemas. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.) **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Agrobiologia, 2005. p.29-46.

APÊNDICE

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de variância – Parcelas subdivididas

Atributos Químicos

Matéria orgânica

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	36	12	1,39	0,2834
Tratamentos	5	54	11	1,26	0,3331
Resíduo (a)	15	129	9		
Parcelas	23	218			
Subparcelas	3	2 837	946	228,81	0,0000**
Tratam x Parcelas	15	59	4	0,95	0,5169
Resíduo (b)	54	223	4		
	95	3 338			

pH

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	0,54	0,18	1,69	0,21
Tratamentos	5	2,95	0,59	5,55	0,00**
Resíduo (a)	15	1,60	0,11		
Parcelas	23	5,09			
Subparcelas	3	4,50	1,50	32,99	0,00**
Tratam x Parcelas	15	1,71	0,11	2,51	0,01**
Resíduo (b)	54	2,45	0,05		
	95	13,75			

K

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	2,07	0,69	6,06	0,01**
Tratamentos	5	1,59	0,32	2,79	0,06
Resíduo (a)	15	1,71	0,11		
Parcelas	23	5,37			
Subparcelas	3	74,08	24,69	298,48	0,00**
Tratam x Parcelas	15	2,37	0,16	1,91	0,04*
Resíduo (b)	54	4,47	0,08		
	95	86,28			

Ca

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	383	128	2,67	0,0848
Tratamentos	5	1 098	220	4,60	0,0096**
Resíduo (a)	15	716	48		
Parcelas	23	2 198			
Subparcelas	3	1 429	476	28,29	0,0000**
Tratam x Parcelas	15	875	58	3,46	0,0004**
Resíduo (b)	54	909	17		
	95	5 410			

Mg

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	37	12	5,22	0,0115*
Tratamentos	5	62	12	5,18	0,0059**
Resíduo (a)	15	36	2		
Parcelas	23	135			
Subparcelas	3	99	33	26,02	0,0000**
Tratam x Parcelas	15	40	3	2,10	0,0238*
Resíduo (b)	54	69	1		
	95	343			

H + AL

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	327	109	1,53	0,2474
Tratamentos	5	2 025	405	5,69	0,0039**
Resíduo (a)	15	1 068	71		
Parcelas	23	3 419			
Subparcelas	3	2 562	854	40,78	0,0000**
Tratam x Parcelas	15	1 035	69	3,29	0,0006**
Resíduo (b)	54	1 131	21		
	95	8 147			

AI

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	9	3	1,51	0,2522
Tratamentos	5	37	7	3,66	0,0230*
Resíduo (a)	15	30	2		
Parcelas	23	77			
Subparcelas	3	4	1	2,46	0,0724
Tratam x Parcelas	15	16	1	1,98	0,0347*
Resíduo (b)	54	30	1		
	95	127			

SB

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	715	238	3,42	0,0446*
Tratamentos	5	1 658	332	4,76	0,0083**
Resíduo (a)	15	1 044	70		
Parcelas	23	3 417			
Subparcelas	3	1 520	507	20,25	0,0000**
Tratam x Parcelas	15	1 251	83	3,34	0,0006**
Resíduo (b)	54	1 351	25		
	95	7 539			

CTC

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	305	102	3,50	0,0419*
Tratamentos	5	298	60	2,05	0,1293
Resíduo (a)	15	436	29		
Parcelas	23	1 039			
Subparcelas	3	1 225	408	21,10	0,0000**
Tratam x Parcelas	15	664	44	2,29	0,0136*
Resíduo (b)	54	1 045	19		
	95	3 972			

V%

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	598	199	2,42	0,1065
Tratamentos	5	2 569	514	6,24	0,0025**
Resíduo (a)	15	1 236	82		
Parcelas	23	4 403			
Subparcelas	3	2 588	863	36,16	0,0000**
Tratam x Parcelas	15	1 373	92	3,84	0,0001**
Resíduo (b)	54	1 288	24		
	95	9 652			

Atributos Microbiológicos

Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3,00	0,22	0,07	0,59	0,63
Tratamentos	5,00	0,31	0,06	0,49	0,78
Resíduo (a)	15,00	1,87	0,12		
Parcelas	23,00	2,40			
Subparcelas	7,00	6,75	0,96	10,63	0,00**
Tratam x Parcelas	35,00	3,30	0,09	1,04	0,42
Resíduo (b)	126,00	11,42	0,09		
	191,00	23,86			

Respiração Basal (RB)

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3,00	0,13	0,04	1,62	0,23
Tratamentos	5,00	0,75	0,15	5,45	0,00**
Resíduo (a)	15,00	0,41	0,03		
Parcelas	23,00	1,29			
Subparcelas	7,00	5,51	0,79	28,39	0,00**
Tratam x Parcelas	35,00	1,67	0,05	1,72	0,02*
Resíduo (b)	126,00	3,49	0,03		
	191,00	11,97			

Quociente metabólico (qCO₂)

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3	0,00064	0,00021	1,20	0,3428
Tratamentos	5	0,00234	0,00047	2,64	0,0660
Resíduo (a)	15	0,00265	0,00018		
Parcelas	23	0,00563			
Subparcelas	7	0,00304	0,00043	1,78	0,0966
Tratam x Parcelas	35	0,01050	0,00030	1,23	0,2019
Resíduo (b)	126	0,03069	0,00024		
	191	0,04986			

UFC - Fungos

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3,00	0,18	0,06	1,63	0,22
Tratamentos	5,00	0,88	0,18	4,81	0,01**
Resíduo (a)	15,00	0,55	0,04		
Parcelas	23,00	1,60			
Subparcelas	7,00	2,68	0,38	9,40	0,00**
Tratam x Parcelas	35,00	2,06	0,06	1,45	0,07
Resíduo (b)	126,00	5,13	0,04		
	191,00	11,47			

UFC - Bactéria

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Blocos	3,00	0,32	0,11	0,59	0,63
Tratamentos	5,00	2,06	0,41	2,24	0,10
Resíduo (a)	15,00	2,76	0,18		
Parcelas	23,00	5,14			
Subparcelas	7,00	19,48	2,78	13,02	0,00**
Tratam x Parcelas	35,00	6,27	0,18	0,84	0,72
Resíduo (b)	126,00	26,92	0,21		
	191,00	57,81			