



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTIVO
ORGÂNICO E CONVENCIONAL DA CANA-DE-
AÇÚCAR, NOS ATRIBUTOS DO SOLO**

LURDINEIDE DE ARAÚJO BARBOSA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA/DF
FEVEREIRO/2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DA
CANA-DE-AÇÚCAR, NOS ATRIBUTOS DO SOLO**

LURDINEIDE DE ARAÚJO BARBOSA

ORIENTADORA: MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 11/2010

**BRASÍLIA/DF
FEVEREIRO/2010**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DA
CANA-DE-AÇÚCAR, NOS ATRIBUTOS DO SOLO

LURDINEIDE DE ARAÚJO BARBOSA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE
AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
DISCIPLINAS DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL.

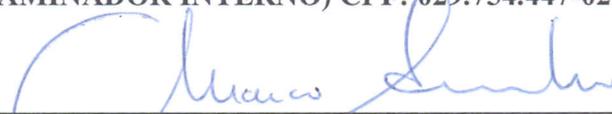
APROVADA POR:



MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS, Ph.D. (UnB – FAV)
(ORIENTADOR) CPF: 002.094.438-12, e-mail: lucrecia@unb.br



CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO Dr. (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 029.754.447-02, e-mail: cicerocf@unb.br



MARCO AURÉLIO CARBONE CARNEIRO Dr. (UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 093.852.608-12, e-mail:
carbonecarneiro@yahoo.com.br

BRASÍLIA/DF, 26 de Fevereiro de 2010.

FICHA CATALOGRÁFICA

Barbosa, Lurdineide de Araújo

Impacto de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, nos atributos do solo. / Lurdineide de Araújo Barbosa; orientação de Maria Lucrecia Gerosa Ramos. – Brasília, 2010.

p. 80: il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2010.

1. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana. 2. Agricultura orgânica. 3. Estoque de carbono e nitrogênio. 4. Densidade do solo. 5. Cerrado. 6. Manejo do solo. I. Ramos, M. L. G. II. Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARBOSA, L. de A. **Impacto de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, nos atributos do solo.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2010, 80 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lurdineide de Araújo Barbosa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Impacto de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, nos atributos do solo.

GRAU: Mestre ANO: 2010

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Lurdineide de Araújo Barbosa

CPF: 912.812.291-72

Rua Marechal Hermes Qd 22 Lt 07, Jardim Nova Era

74916-080 – Aparecida de Goiânia/GO - Brasil

E-mail: lurdiufg@yahoo.com.br

Dedico aos meus pais Carlito e Maria de Lourdes.

*Ofereço: ao meu esposo Odair,
ao meu irmão Carlos Alexandre e
minhas irmãs Solange e Luciene.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que...

...me orientaram com paciência e sabedoria:

Minha Orientadora, Maria Lucrecia Gerosa Ramos e o Professor Paulo Marçal Fernandes (UFG).

...me ajudou nas análises estatísticas com eficiência e eficácia:

Professor Lúcio Vivalvi.

...tornaram possível a dedicação exclusiva à pesquisa, por meio de bolsa de estudos:

Usina Jalles Machado S/A.

...financiaram e apoiaram o projeto:

Usina Jalles Machado S/A e Universidade de Brasília (UnB).

...gentilmente me ajudaram nas coletas de campo:

Rafael Nunes, Ana Paula Reis, Laryssa Teles Batista, Alexandre Carvalho, João Gabriel Carvalho.

...me ajudaram no trabalho de laboratório com competência e profissionalismo:

Manoel M. F. Lacerda (Neto), Ana Paula Reis, Camila Eufrásio de Souza, Letícia, Rogério.

...me deram apoio irrestrito na Usina Jalles Machado:

Rogério Augusto Bremm Soares, Edgar Alves, Patrícia Resende, Ivan Gomes, Joel, Sollymar França, Vicente e toda equipe de campo.

...contribuíram com as aulas e sugestões em todas as etapas do trabalho:

Sebastião Oliveira, Wenceslau Goedert, Carlos Alberto Oliveira, Eity Kato, Jean Kleber, Lúcio Vivaldi.

...me apoiaram no dia a dia com carinho e compreensão:

Odair José Machado, minha família e meus amigos.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	O bioma Cerrado.....	4
3.2	A cultura da cana-de-açúcar.....	5
3.3	Sistema de cultivo orgânico.....	8
3.4	O cultivo do solo e alterações nos atributos bioquímicos, físicos e químicos.....	11
3.4.1	Atributos bioquímicos.....	12
3.4.1.1	Respiração basal.....	12
3.4.1.2	Carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}).....	13
3.4.1.3	Quociente metabólico (qCO_2).....	14
3.4.1.4	Quociente microbiano ($qMIC$).....	14
3.4.1.5	Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}).....	15
3.4.1.6	Relação $N_{BMS}:N_{total}$	16
3.4.2	Atributos físicos.....	16
3.4.3	Atributos químicos.....	17
3.5	Estoque de carbono em solos cultivados com cana-de-açúcar.....	18
3.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
4	ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO, NITROGÊNIO TOTAL E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL.....	25

	RESUMO.....	25
	ABSTRACT.....	26
4.1	INTRODUÇÃO.....	27
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.2.1	Características do solo e sistemas de manejo em estudo.....	29
4.2.2	Preparo do solo, adubação e colheita.....	30
4.2.3	Amostragem do solo.....	30
4.2.4	Procedimentos da amostragem do solo.....	30
4.2.5	Análises laboratoriais.....	31
4.2.5.1	Análises físicas.....	31
4.2.5.2	Análises químicas	32
4.2.5.2.1	Carbono orgânico.....	32
4.2.5.2.2	Nitrogênio total.....	32
4.2.6	Estoque de carbono e nitrogênio.....	33
4.3.	Análise estatística.....	33
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.4.1	Carbono orgânico.....	35
4.4.2	Nitrogênio total.....	36
4.4.3	Estoque de C orgânico.....	37
4.4.5	Estoque de N total.....	39
4.4.6.	Densidade do solo (Ds) e Porosidade total (Pt).....	40
4.5	CONCLUSÕES.....	43
4.6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
5	IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DO SOLO.....	47

	RESUMO.....	47
	ABSTRACT.....	48
5.1	INTRODUÇÃO.....	49
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	51
5.2.1	Características do solo e sistemas de manejo em estudo.....	51
5.2.2	Preparo do solo, adubação e colheita.....	52
5.2.3	Amostragem do solo.....	52
5.2.3.1	Procedimentos da amostragem do solo.....	52
5.2.4	Análises microbiológicas.....	53
5.2.4.1	Respiração basal.....	53
5.2.4.2	Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo.....	54
5.2.4.3	Quociente metabólico.....	56
5.2.5	Análises químicas.....	56
5.2.6	Análise estatística.....	57
5.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
5.3.1	Carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}).....	58
5.3.2	Respiração basal (Rb) ou atividade microbiana.....	60
5.3.3	Quociente metabólico (qCO_2).....	62
5.3.4	Quociente microbiano ($qMIC$).....	63
5.3.5	Nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}).....	65
5.3.6	Relação $N_{BMS}:N_{total}$	66
5.4	CONCLUSÕES.....	68
5.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
	ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Quociente metabólico (qCO_2), ($mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ C-BM\ dia^{-1}$) em solos cultivados com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano (seca e chuvosa). CE: Cerrado; PT: pastagem; CO: cana orgânica; CC: cana crua; CQ: cana queimada. Letras minúsculas comparam sistemas de uso do solo na estação seca. Letras maiúsculas comparam sistemas de uso do solo na estação chuvosa. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste t, a 5 %. (*) Indica que houve diferença significativa entre as épocas de amostragem (seca e chuvosa).....62
------------	---

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1.	Carbono Orgânico em solos cultivados com cana-de-açúcar e solos de Cerrado e pastagem, em seis camadas.....	35
Tabela 1.2.	Nitrogênio total nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica em seis camadas.....	37
Tabela 1.3.	Estoque de carbono em áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 e 0-60 cm, média das duas épocas.....	38
Tabela 1.4	Estoque de nitrogênio total nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 e 0-60 cm), média das duas épocas.....	39
Tabela 1.5.	Densidade do solo nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica em seis camadas.	40
Tabela 1.6.	Porosidade total nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica em seis profundidades.....	41
Tabela 2.1	Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg^{-1} de solo) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano: seca e chuvosa e duas profundidades: 0-10 e 10-20 cm.....	58
Tabela 2.2	Respiração basal do solo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em épocas: seca e chuvosa e duas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.....	60
Tabela 2.3	$C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ (%) em solo cultivado com a cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano (seca e chuvosa) e duas profundidades (0-10 e 10-20 cm).....	63
Tabela 2.4	Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg^{-1} de solo) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano: seca e chuvosa e duas profundidades: 0-10 e 10 a 20 cm.....	65
Tabela 2.5	$N_{\text{BMS}}:N_{\text{total}}$ (%) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solo sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano: seca e chuvosa e duas profundidades: 0-10 c e 10-20 cm.....	66

RESUMO GERAL

IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR, NOS ATRIBUTOS DO SOLO

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos dos sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, com e sem queima, em alguns atributos do solo. Foram avaliados os atributos físicos, químicos e bioquímicos do solo: carbono orgânico e nitrogênio total (CO e NT, respectivamente); estoque de carbono orgânico e N total; densidade do solo; porosidade total; carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo (C_{BMS} e N_{BMS} , respectivamente) e a respiração basal, como medida da atividade microbiana. Utilizaram-se cinco sistemas de uso do solo: três áreas cultivadas com cana-de-açúcar e, duas que serviram como referência: uma área sob Cerrado nativo e outra sob pastagem. Os sistemas estudados foram: sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar (CO); sistema de cultivo convencional sem queima da palhada antes da colheita (CC); sistema de cultivo convencional com queima da palhada antes da colheita (CQ); sistema pastagem (PT) e sistema Cerrado nativo (CE). Foi feito um estudo observacional, onde as variáveis bioquímicas foram coletadas em dois tempos (época seca e chuvosa) e duas camadas de solo (0-10 e 10-20 cm). As variáveis físicas e químicas foram feitas em agosto de 2008 e agosto de 2009, nas camadas do solo de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 e 50-60 cm. As amostras de solo foram coletadas após o 4º e 5º corte do canavial. Houve alterações nos atributos do solo no sistema de cultivo orgânico em relação aos sistemas de cultivo convencional. Nos atributos físicos e químicos, em geral, os maiores estoques de C orgânico e N total, assim como as menores densidades do solo e porosidade total foram observadas no sistema de cultivo orgânico, em relação aos sistemas de cultivo convencional. Nos atributos bioquímicos o C_{BMS} e o N_{BMS} foram maiores no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar do que no sistema de cultivo convencional.

Palavras-chave: Cerrado, densidade do solo, atributos do solo, agricultura sustentável, respiração basal, biomassa microbiana, estoque de carbono e nitrogênio

IMPACT OF ORGANIC AND CONVENTIONAL SUGAR CANE CULTIVATION SYSTEM ON SOIL ATTRIBUTES

ABSTRACT

The aim of this work was to study the effects of organic and conventional sugar cane cultivation system, with and without burn, on some soil attributes. Physical, chemical and biochemical soil attributes were evaluated, such as: total organic carbon and nitrogen (TOC and TN, respectively), carbon and nitrogen storage, bulk density, total porosity, carbon and nitrogen microbial biomass carbon and nitrogen (MBC and MBN, respectively) and basal respiration, for measuring microbial activity. Five soil use systems were utilized: three areas cultivated with sugar cane and two were utilized as reference areas: one with native Cerrado area and the other with pasture. The studied systems were: sugar cane organic system; sugar cane conventional system without burnt; sugar cane conventional system with burnt; pasture and native Cerrado area. An observational study were made, where biochemical variables were collected at two periods (dry and rain season) and two soil layers (0-10 and 10-20 cm). Physical and chemical variables were collected at August/2008 and August/2009) at the following soil layers: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60. Soil samples The samples were collected after 4^o and 5^o sugar cane harvest. There were soil attributes alterations on organic sugar cane system compared to conventional sugar cane cultivation systems. On physical and chemical attributes, in general, higher values of carbon and nitrogen storage and lower bulk soil and total porosity were observed on organic sugar cane systems in relation to conventional systems. The biochemical attributes MBC and MBN showed higher values compared to conventional sugar cane cultivation systems.

Key words: Cerrado, soil bulk, soil attributes, sustainable agriculture, soil respiration, microbial biomass, carbon and nitrogen storage.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Segundo Mueller & Martha Júnior (2008), o Cerrado brasileiro, atualmente, foco de expansão da cultura da cana-de-açúcar, é um ecossistema que ocupa 204,7 milhões de hectares, 24% do território brasileiro e contém a segunda maior biodiversidade da América do Sul e as nascentes de cinco grandes bacias hidrográficas. No bioma Cerrado brasileiro concentra-se um terço da biodiversidade nacional e, é a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade (Faleiro et al., 2008).

O bioma Cerrado está presente em doze estados brasileiros e no Distrito Federal, representando um enorme potencial para atividades agrícolas (alimentos, fibras, energia, etc.), além de outras atividades de interesse social, econômico e ambiental, (Mueller & Martha Júnior 2008). Por possuir solos com boas condições físicas para a mecanização e um relevo bastante plano fez com que esse bioma tenha sido alvo das recentes expansões de atividades agrícolas.

De acordo com a FAEG (2007) a abundância de terras mais baratas e aptas ao cultivo da cana-de-açúcar nestas regiões, especialmente aquelas anteriormente ocupadas por pastagens, tem motivado o crescimento da agricultura na região do Cerrado. Atualmente, cultura da cana-de-açúcar assume papel de grande importância na economia brasileira, em especial no estado de Goiás. Desse modo, a busca por aumentos na produção da cana-de-açúcar tem levado à ocupação do Cerrado e implantação da agricultura, o que tem despertado preocupação quanto à sustentabilidade dos agroecossistemas do Cerrado, pois se temem que essas ações, sejam conduzidas sem se considerarem as características peculiares desse bioma, desequilibrando o ambiente desse ecossistema. Segundo Silva & Resck (1997), a ocupação dos solos do Cerrado tem gerado um desequilíbrio deste ecossistema pelo aumento desenfreado do desmatamento o que tem causado a perda da biodiversidade e a degradação do solo, através do esgotamento de nutrientes e da erosão.

Devido, às características peculiares do solo dessa região, o cultivo dos solos do Cerrado requer cuidados especiais, para que se mantenha a sua qualidade e a sustentabilidade da agricultura nessa região. Segundo Fragoso et al. (1999), a capacidade produtiva dos solos dos Cerrados, que são caracterizados pela sua baixa fertilidade natural, depende de um bom manejo do solo e de práticas agrícolas adequadas para a correção da acidez e da fertilidade dos solos. Uma alternativa para a produção sustentável da cana-de-açúcar nessa região pode ser através do sistema de cultivo orgânico. Segundo Sampaio et al., (2008); Maluche-Bareta et

al., (2007) esse sistema de cultivo pode melhorar a qualidade do solo em relação ao sistema de cultivo convencional.

No sistema de cultivo orgânico, o manejo adequado do solo é um dos pilares da agricultura. Nesse sistema de cultivo, há que se desenvolver e aplicar soluções criativas para minimizar o uso de insumos industrializados e maximizar o uso de recursos naturais, levando-se em consideração o controle da erosão e a utilização de práticas conservacionistas, a manutenção ou a melhoria da fertilidade do solo e a dinâmica da biota no sistema solo/planta (Peixoto, 2005). Pois, nesse sistema de cultivo, o solo é visto como um sistema vivo, o qual deve ser nutrido, de modo a não restringir as atividades de organismos benéficos e necessários à reciclagem de nutrientes (USDA, 1984).

O sistema de cultivo orgânico pode ser uma excelente alternativa para a produção sustentável da cana-de-açúcar, porém, são poucos os estudos que mostram os efeitos desse sistema de cultivo sobre as propriedades do solo. Sampaio et al. (2008) concluíram que a adoção do sistema orgânico aumentou a atividade microbiana e o conteúdo de carbono orgânico no solo, mostrando benefícios para esse sistema agrícola. Segundo Chaer & Tótola (2007), os indicadores biológicos, por serem bastante sensíveis a mudanças no uso do solo, são muito utilizados para monitorar mudanças que ocorrem no solo devido ao seu cultivo. Com isso é possível identificar o que ocorre num determinado sistema de cultivo do solo, ou seja, se o sistema de produção contribui para aumentar ou diminuir a sustentabilidade do agroecossistema. Fragoso et al. (1999) comentam que a capacidade produtiva dos solos não depende somente da fertilidade, mas também da comunidade microbiológica desses solos. Pois, alterações no solo alteram diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e conseqüentemente sua fertilidade, pois, há diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos no solo, que controlam esses processos. Carneiro et al. (2009), concluíram que os manejos e uso do solo alteram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Segundo Canellas et al. (2003) o entendimento das modificações nas propriedades químicas do solo, decorrente do cultivo contínuo de cana-de-açúcar, pode fornecer elementos para produção em bases sustentáveis. Maia & Ribeiro (2004) verificaram que o manejo do solo adotado no cultivo da cana-de-açúcar afeta negativamente as propriedades químicas dos solos provocando redução significativa no carbono orgânico do solo.

A preocupação com o futuro das próximas gerações é determinante para que novos modelos agrícolas sejam desenvolvidos, objetivando uma produção ecologicamente equilibrada, economicamente viável e socialmente justa. Sendo o manejo do solo muito importante nos sistemas de produção quando se busca uma agricultura que seja sustentável.

Nesse contexto, o estudo dos sistemas de cultivo da cana-de-açúcar por meio dos atributos físicos, químicos e bioquímicos do solo pode contribuir para o entendimento dos impactos que os sistemas de cultivo da cana-de-açúcar podem provocar nos solos do bioma Cerrado, melhorando assim, a utilização dos recursos naturais desse importante bioma. Diante disso, este trabalho tem como hipótese que, o sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar, em relação ao sistema de cultivo convencional, aumenta os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo, melhora a atividade biológica dos microrganismos e mantém uma maior biomassa e nitrogênio da biomassa microbiana no solo. Para isso, os objetivos desse trabalho foram avaliar os efeitos do sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar e do sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar, com e sem a queima, em alguns atributos físicos, químicos e bioquímicos do solo, comparando-os com uma área de Cerrado nativo e uma área sob pastagem.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos desse trabalho foram avaliar os efeitos do sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar e do sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar, com e sem a queima, em alguns atributos físicos, químicos e bioquímicos do solo, comparando-os com uma área de Cerrado nativo e uma área sob pastagem.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no sistema de cultivo orgânico e no sistema de cultivo convencional com e sem queima, comparando-os com uma área de Cerrado nativo e uma área de pastagem.
- Avaliar o efeito do sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar e do sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar, com e sem queima, na densidade e na porosidade total, comparando-os com uma área de Cerrado nativo e uma área sob pastagem.
- Avaliar o efeito do sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar e do sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar, com e sem queima, na atividade biológica do solo e no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, comparando-os com uma área de Cerrado nativo e uma área sob pastagem.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O bioma Cerrado

Segundo Mueller & Martha Júnior (2008), o Cerrado brasileiro, foco de expansão da cultura da cana-de-açúcar, é um ecossistema que ocupa 204,7 milhões de hectares, 24% do território brasileiro e contém a segunda maior biodiversidade da América do Sul e as nascentes de cinco grandes bacias hidrográficas. O bioma Cerrado concentra um terço da biodiversidade nacional e é a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade (Faleiro et al., 2008). O principal fator determinante desse ecossistema é o padrão de distribuição anual das chuvas, com duas estações distintas: seca e chuvosa (Goedert et al., 2008).

O bioma Cerrado está presente em doze estados brasileiros e no Distrito Federal, representando um enorme potencial para atividades agrícolas (alimentos, fibras, energia, etc.), além de outras atividades de interesse social, econômico e ambiental, (Mueller & Martha Júnior, 2008). Por possuir solos com boas condições físicas para a mecanização e um relevo bastante plano fez com que esse bioma tenha sido alvo das recentes expansões de atividades agrícolas.

Nos solos do Cerrado predominam a classe dos Latossolos que representam 46 % dos seus solos, (Assad, 1997). Os Latossolos são solos profundos, que apresentam boa drenagem com baixa capacidade de armazenamento de água e possuem reduzidos teores de matéria orgânica. Possui baixa CTC, saturação de bases e disponibilidade de nutrientes. Sua acidez é elevada e há predominância de minerais secundários de baixa atividade. São solos que apresentam boas condições físicas para a mecanização agrícola, sendo que o fator limitante é o baixo teor de nutrientes disponíveis para as plantas.

Com todas estas peculiaridades destes solos, o uso adequado das terras em áreas já desmatadas do Cerrado será extremamente relevante para o desempenho e a competitividade da agricultura brasileira. A dinâmica no uso da terra na produção de alimentos *versus* de biocombustíveis deverá provocar uma crescente pressão para a expansão da fronteira em direção ao Bioma Amazônico e uma inevitável recolocação e reorganização tecnológica das atividades agrícolas em regiões já consolidadas no Cerrado (Mueller & Martha Junior, 2008).

Desse modo a ocupação dos solos do Cerrado deverá ser feita, com ênfase na conservação da biodiversidade adotando práticas de conservação que incluem preservar amostras importantes desta biodiversidade para as futuras gerações, de modo a promover o uso da terra e dos recursos naturais, de forma ambientalmente correta (Gonçalves, 2006).

Até três décadas atrás, a economia da região do Cerrado era baseada na pecuária extensiva e na agricultura de subsistência. Atualmente a região do Cerrado é responsável por um terço da produção de grãos do país (soja, milho, sorgo, arroz, café, etc.) e metade da produção de carnes (Goedert, et al., 2008). Em Goiás, após 1970 a tradicional agricultura de subsistência e pecuária extensiva praticada no estado foi sendo substituída por uma agricultura moderna, com a adoção de novas tecnologias ao processo produtivo.

Devido à conscientização sobre problemas ambientais oriundos da exploração indiscriminada dos Cerrados, é cada vez maior a demanda por informações sobre a biologia dos solos do Cerrado, e o impacto da incorporação de grandes áreas dessa região em sistemas agrícolas intensivos (Vargas & Hungria, 1997).

Portanto, o que se requer, é uma nova abordagem da agricultura e do desenvolvimento agrícola, que se baseie em aspectos de conservação de recursos da agricultura tradicional local, e ao mesmo tempo, se explorem conhecimentos e métodos ecológicos modernos. A agricultura do futuro deve ser tanto sustentável quanto altamente produtiva para poder alimentar a crescente população humana.

3.2. A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é originária da Nova-Guiné e foi levada para o sul da Ásia. Posteriormente, os Árabes a levaram para o norte da África e sul da Europa. Os chineses a levaram para Java e Filipinas. Na Europa o cultivo da cana não teve sucesso, pois a cana é uma cultura típica de climas tropicais e subtropicais. Daí os portugueses levaram a cana para ilhas da Madeira e os espanhóis para as ilhas Canárias. Contudo foram na América que a cana encontrou excelentes condições para o seu desenvolvimento. Os portugueses trouxeram a cana para o Brasil no fim do século XVI, onde foi cultivada inicialmente nos estados de Pernambuco e na Bahia. Depois de 1615 a cana atingiu o planalto paulista (Mozambani et al., 2006).

Atualmente, o maior produtor mundial da cana-de-açúcar é o Brasil, com uma área colhida na safra 2009/10 estimada em 7.531 mil hectares, distribuídas em todos os estados produtores e a maior concentração está em São Paulo – 4.101,4 mil ha; Paraná – 590,1 mil ha; Minas Gerais – 587,1 mil ha; Goiás – 520,3 mil ha. O Brasil lidera a tecnologia de produção do etanol e produziu em torno de 612.211, 20 mil toneladas de cana, na safra 2009/2010 (Conab, 2009).

Em 1753, Linneu descreveu a cana-de-açúcar e a classificou como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*.; é uma planta que se desenvolve em forma de touceira ou moita. A parte aérea é formada por colmos, que é o caule típico das gramíneas; folhas, inflorescência e frutos e a subterrânea por raízes e rizomas (caules subterrâneos, espessados, ricos em reservas, providos de nós e entrenós e de crescimento horizontal). As raízes são fasciculadas ou em cabeleira, sendo que 85% delas encontram-se nos primeiros 50 cm e aproximadamente 60% entre os primeiros 20-30 cm de profundidade, havendo pequenas variações nessa percentagem dependendo, sobretudo, das variedades (Mozambani et al., 2006).

O ciclo fenológico da cana-de-açúcar varia entre 11 a 22 meses dependendo da época do plantio. Os canaviais plantados entre setembro e novembro, ou seja, no início da estação chuvosa, a duração do ciclo é em torno de 12 meses. Após o plantio do tolete ocorre a brotação e a cana tem se aproximadamente oito meses de desenvolvimento vegetativo e quatro meses para que ocorra a maturação. Já os canaviais plantados entre janeiro a abril, apresentam ciclo variando entre 14 a 21 meses. Neste caso, o desenvolvimento da cana é favorecido nos três meses iniciais, ficando limitado nos meses secos que vai de abril a agosto e nos próximos sete meses seguintes volta a vegetar amadurecendo nos meses de inverno (Segato et al., 2006).

Após o amadurecimento a cana é colhida e a colheita pode ser mecanizada, através de colhedoras de cana ou manual, com o auxílio de um podão, sendo que um trabalhador braçal colhe em média de 6 a 8 toneladas de cana por dia, enquanto que a capacidade de uma colhedora mecânica pode chegar a 600 toneladas por dia (Segato & Pereira, 2006). No processo de colheita mecanizada, a cana é colhida crua, a palhada retorna ao solo, formando uma densa camada sobre o solo. No processo de colheita manual, a cana é queimada antes do corte, para facilitar o trabalho e aumentar a eficiência dos cortadores; nesse processo, apenas os ponteiros retornam ao solo, ficando este praticamente descoberto. De acordo com a FAEG (2007) em boa parte das áreas produtoras de cana-de-açúcar, o processo de colheita manual é baseado na queima da cana, gerando impactos ambientais indesejados.

Após a colheita/corte da cana inicia-se um novo ciclo de aproximadamente 12 meses (Segato et al., 2006). Isso se repete por cinco a seis vezes até que se dar a reforma do canavial e um novo tolete é plantado. A avaliação econômica de rendimento (produtividade) é que determina a renovação dos canaviais (Jendiroba, 2006). O preparo do solo ocorre apenas na época do plantio e/ou reforma dos canaviais, geralmente a cada cinco ou seis anos.

O preparo do solo para o cultivo provoca alterações nos atributos do solo, por isso Jendiroba (2006) recomenda que se faça um monitoramento rigoroso nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar adotando-se indicadores de sustentabilidade da produção e dos efeitos no ambiente ao longo dos anos de exploração da cultura. Segundo a autora, o cultivo da cana-de-açúcar provoca modificações na cobertura vegetal, pois uma nova cultura é inserida e o solo será usado intensivamente, modificando o relevo, alterando o ecossistema, demandando assim, maior preocupação ambiental no processo de produção da cana-de-açúcar.

Devido à grande expansão da cultura da cana-de-açúcar em regiões onde está presente o bioma Cerrado, torna-se imprescindível a busca por práticas agrícolas que possam causar menos danos ao ambiente de produção de modo que a prática da agricultura seja sustentável. Por isso é importante que se façam estudos sobre os efeitos que os diferentes sistemas de cultivo da cana-de-açúcar causam no ambiente de produção, de modo que com isso se possa definir a melhor estratégia de uso e manejo dos solos no bioma Cerrado.

Os principais sistemas de cultivo utilizados na produção da cana-de-açúcar são: sistema de cultivo convencional, sistema de cultivo mínimo, sistema de plantio direto e mais recentemente o sistema de cultivo orgânico. No sistema de cultivo convencional, o preparo do solo consiste em sucessivas operações que deixam o solo pronto para receber a cultura da cana-de-açúcar de modo que as operações mais utilizadas são a sistematização, distribuição dos corretivos; aração, gradagem pesada, subsolagem e gradagem niveladora (Gonçalves, 2006).

Em sistemas de cultivo da cana-de-açúcar onde não se queima a palhada o solo tende a funcionar como um compartimento seqüestrador de carbono atmosférico porque no processo de decomposição, parte da palhada é incorporada ao solo, pois a palhada da cana-de-açúcar é produzida pelo processo fotossintético de assimilação de CO₂ do ar (Luca et al., 2008).

Grande parte das áreas onde está inserido o bioma Cerrado ainda é ocupada por pastagens. Gonçalves (2006) verificou que a agricultura utiliza pouco mais de 7 % da superfície brasileira, a cana-de-açúcar (0,6%). A maior parte do território é ocupada por pastagens (35%) e florestas (55%). O autor comenta que no processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar, áreas onde havia pastagens foram e continuam sendo substituídas pela cana. Sendo assim, é importante que se avalie também os efeitos da substituição de áreas sob pastagens para áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

3.3. Sistema de cultivo orgânico

Segundo o MAPA (2010), Lei nº. 10.831 de 23 de dezembro de 2003, “considera-se sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade 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 e a proteção do meio ambiente”.

Os produtores orgânicos, para obter a sustentabilidade econômica, procuram alternativas para promover a máxima reciclagem de energia e nutrientes, como forma de minimizar a perdas destes recursos durante os processos produtivos; e buscando a sustentabilidade ecológica, esses produtores utilizam tecnologias que respeitam a natureza, para, trabalhando com ela, manter ou pouco alterar as condições de equilíbrio entre os organismos participantes no processo de produção, bem como do ambiente (Aquino & Assis, 2007).

O manejo adequado do solo é um dos pilares da agricultura orgânica. Nesse sistema de cultivo, há que se desenvolver e aplicar soluções criativas para minimizar o uso de insumos industrializados e maximizar o uso de recursos naturais, levando-se em consideração o controle da erosão e a utilização de práticas conservacionistas, a manutenção ou a melhoria da fertilidade do solo e a dinâmica da biota no sistema solo/planta (Peixoto, 2005). Pois, nesse sistema de cultivo, o solo é visto como um sistema vivo, o qual deve ser nutrido, de modo a não restringir as atividades de organismos benéficos e necessários à reciclagem de nutrientes (USDA, 1984).

Segundo Primavesi (2008), no manejo agroecológico do solo pressupõe-se que o solo saudável é vivo, pois neste há a presença de variadas formas de organismos que interagem entre si e com os componentes minerais e orgânicos do solo. Essa interação biológica exerce uma função essencial na agregação do solo, de modo a torná-lo grumoso e permeável para o ar e para a água, favorecendo os microrganismos do solo que são os responsáveis pela mobilização e disponibilização dos nutrientes para as plantas.

Desse modo, os produtores orgânicos devem buscar técnicas para aumentar a atividade biológica do solo; para promover o uso saudável do solo e reduzir ao mínimo todas as formas de contaminação que possam resultar das práticas agrícolas e também, manter ou incrementar a fertilidade do solo em longo prazo, pois, estas são finalidades de um sistema orgânico de

produção, (MAPA, 2010). A rotação de culturas pode ser uma alternativa para o produtor orgânico alcançar estas finalidades. Em um estudo realizado por Vezzani & Mielniczuk (2009) concluiu-se que sistemas agrícolas que possuem cultivo de espécies diferentes no tempo e no espaço potencializam o sistema solo a se organizar em estruturas físicas e químicas, habilitando o solo a exercer suas funções na natureza e, assim, atingir sua qualidade.

Segundo Miranda (2007), o sistema de produção orgânico deve ser ambientalmente correto, economicamente viável e socialmente justo. Segundo o autor, a viabilidade econômica do agronegócio deve promover lucro líquido para o produtor. A sustentabilidade social está relacionada às boas condições de trabalhos e respeito aos direitos trabalhistas dos empregados. Para ser ambientalmente correta, a rentabilidade da produção não deve gerar passivo ambiental, ou qualquer dano aos sistemas ecológicos. A sustentabilidade econômica tem que ser obtida sem estorno do impacto negativo gerado sobre o meio ambiente.

Em busca desta independência os produtores orgânicos de cana-de-açúcar utilizam adubos e compostos orgânicos produzidos na propriedade, ou obtidos fora da unidade de produção, quando autorizados pelas certificadoras. Os adubos mais utilizados pelos produtores na adubação orgânica da cana-de-açúcar são: fosfatos naturais, calcários ou rochas moídas, coberturas mortas, esterco puro, resíduos de frigoríficos, compostagem, tortas de filtros, tortas de mamona, vinhaça, material que sai dos biodigestores e farinhas de ossos e na época da reforma dos canaviais é realizada a rotação de culturas e a adubação verde com leguminosas para a fixação biológica do nitrogênio.

A vinhaça é o resíduo obtido após a destilação do caldo de cana fermentado para a produção do álcool. Para cada litro de álcool produzido gera-se um resíduo de aproximadamente 13 litros de vinhaça, a qual contém altos teores de potássio e matéria orgânica. A torta de filtro é o resíduo obtido no processo de clarificação do açúcar, pela filtragem do lodo que é gerado. Este resíduo contém altos teores de fosfatos e matéria orgânica. A vinhaça e a torta de filtro fornecem praticamente todo o potássio e fósforo e parte do nitrogênio requerido na adubação da cana-de-açúcar.

Assim como no sistema de cultivo convencional, no sistema de cultivo orgânico a adubação é feita de acordo com a análise prévia do solo, levando em consideração a quantidade de nutrientes contidos nas diferentes fontes de adubos que são utilizadas, bem como a taxa de conversão dos nutrientes da forma orgânica para a forma mineral. Geralmente, os cálculos são realizados tomando como base o elemento que se encontra em menor concentração. Se após a análise do solo houver a necessidade de adubação complementar,

existem outras fontes disponíveis e que são permitidas tais como: os termofosfatos, sulfato de potássio, sulfato duplo de potássio e magnésio (de origem mineral natural), micronutrientes, sulfato de magnésio, carbonato (como fonte de micronutrientes).

As diferenças entre a agricultura orgânica e a convencional, sem práticas conservacionistas adequadas, são de tal modo que as fazendas convencionais são mais propensas a afetar de modo adverso o meio ambiente, através do aumento da erosão dos solos e do escoamento de nutrientes vegetais e pesticidas. Os agricultores orgânicos desenvolvem uma adubação racional e tendem a usar mais mão-de-obra, aumentar o uso de métodos mecânicos ou manuais para controlar plantas daninhas, e substituir o controle químico de pragas e doenças pelo controle biológico. (Departament of Agriculture Estados Unidos, 1984).

Através do sistema de cultivo orgânico, é possível o desenvolvimento de uma agricultura responsável, por ser uma alternativa eficaz na diminuição dos impactos negativos sobre o meio ambiente. Esse sistema de cultivo pode se tornar uma estratégia de produção ambientalmente aceitável, podendo com isso gerar selos ambientais que poderão diferenciar o açúcar e o álcool produzidos nestes sistemas, dos produzidos pelos competidores, facilitando assim contratos de exportação.

O sistema de cultivo orgânico pode ser uma excelente alternativa na busca de sistemas de produção sustentável, pois este estar fundamentado em bases agroecológicas e, segundo (Sampaio et al., 2008; Maluche-Bareta et al., 2007), esse sistema de cultivo pode melhorar a qualidade do solo em relação ao sistema de cultivo convencional. Porém, ainda segundo os autores, as taxas de melhorias que podem ser alcançadas nestes sistemas vão depender de uma série de fatores, entre os quais, a eficiência no manejo do cultivo, o uso racional da fertilização, principalmente a nitrogenada, de acordo com a formulação empregada, as quais têm implicação na disponibilidade de nutrientes no solo.

A melhoria da qualidade do solo que pode ser obtida com o cultivo do solo no sistema orgânico, também melhora a sua fertilidade e contribui para a diminuição do uso de fertilizantes, que representam um recurso esgotável, além de contaminar o meio ambiente e o lençol freático. Um solo mais equilibrado nutricionalmente poderá ainda, acarretar em ganho econômico para o produtor.

Outra importante contribuição da implementação do sistema de cultivo orgânico, é que este pode funcionar como um mitigador de gases de efeito estufa, uma vez que neste sistema de cultivo há grandes quantidades de carbono e nitrogênio estocados no solo. Estudo realizado por Costa (2009) mostra que sistemas conservacionistas favorecem o seqüestro de carbono

sob a forma de matéria orgânica do solo e o carbono fica armazenamento no solo por um longo prazo, evitando o seu retorno à atmosfera sob a forma de CO₂.

3.4. O cultivo do solo e alterações nos atributos bioquímicos, físicos e químicos

Segundo Moreira & Siqueira (2006), o solo é formado por três fases: líquida contendo água com materiais dissolvidos; gasosa, contendo gases, os mesmos existentes na atmosfera, porém em proporções diferentes; e sólida, a qual é composta por partículas minerais, raízes de plantas, populações de macro e microrganismos vivos e com metabolismo ativo ou dormente, e matéria orgânica em vários estádios de decomposição. Segundo os autores, a fase sólida representa em torno de 45% do volume total; o espaço poroso, constituído por líquidos e gases, representa 50% e, a matéria orgânica, incluindo os organismos vivos, representa 5%, sendo que, os microrganismos ocupam em torno de 0,5% do espaço poroso do solo. Porém, a proporção entre estas três fases pode variar dependendo do tipo de solo e das condições ambientais.

As condições ambientais podem ser alteradas através da conversão de áreas de nativas em áreas cultivadas, pois provoca alterações nos atributos do solo. Estudos realizados por (Araújo et al., 2007; Costa et al., 2006), mostram que o uso intensivo do solo contribui para a redução da sua qualidade, em relação ao solo sob Cerrado nativo. De acordo com Bertol et al. (2004), as alterações nos atributos do solo são mais pronunciadas nos sistemas de cultivo convencionais do que nos sistemas de cultivo considerados conservacionistas.

Segundo Moreira & Siqueira (2006), o cultivo do solo pode causar modificações nos seus atributos químicos e físicos, e tais modificações causam impactos na comunidade biológica do solo, por isso os microrganismos podem ser uma importante ferramenta em estudos da qualidade dos solos, sob interferência antrópica. Segundo Neves et al. (2007), quantificar as alterações que ocorrem nos atributos do solo devido à intensidade de uso e manejo tem sido uma ferramenta muito utilizada para monitorar a qualidade do solo, contribuindo para tornar os sistemas de produção agropecuário mais sustentáveis. Por isso Araújo et al. (2007), ressaltam que o manejo do solo deve ser planejado e executado, procurando-se manter ou mesmo melhorar seus atributos, de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade biológica competitiva, sem comprometer a sua qualidade.

Tornar os solos altamente produtivos, e ao mesmo tempo manter ou melhorar a sua qualidade, tem sido uma das maiores dificuldades encontradas pelo homem. Morris (2007)

relata que é difícil aumentar a produção de alimentos conciliando-a com o grande aumento populacional, sendo necessário, portanto, buscar alternativas para que as atividades agrícolas sejam sustentáveis, através de um projeto de sustentabilidade adequado, além de um manejo apropriado do solo. Segundo Casalinho et al. (2007), o manejo do solo nos sistemas de cultivos agroecológicos, tem sido uma valiosa ferramenta na busca de atividades agrícolas que seja sustentáveis.

3.4.1. Atributos bioquímicos

Os atributos bioquímicos do solo são extremamente sensíveis ao manejo do solo, principalmente a biomassa microbiana que é a parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo as raízes e animais maiores que $5 \times 10 \mu\text{m}$ e representa entre 2 a 3% do carbono do solo, (Wardle, 1994). Por serem vivos, eles são mais sensíveis e precoces às mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo e de seus efeitos sobre atributos físicos e químicos, resultantes das diferentes formas de uso e manejo do solo. Por isso os atributos bioquímicos são muito utilizados quando se quer avaliar as mudanças ocorridas no solo devido a determinados tipos de manejos.

3.4.1.1. Respiração basal

A respiração basal ou atividade respiratória da biomassa microbiana de um solo representa a atividade metabólica da massa de microrganismos deste solo. Segundo Moreira & Siqueira (2006), ela é um dos parâmetros mais antigos para quantificar a atividade microbiana. Ainda segundo os autores, a respiração basal representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo que utilizam o O_2 como receptor final de elétrons, até CO_2 , podendo ser avaliada tanto pelo consumo de O_2 como pela produção de CO_2 .

Devido à atividade dos microrganismos, a atmosfera do solo se difere da atmosfera da superfície de modo que a concentração de CO_2 é de 10 a 100 vezes maior na atmosfera interna do solo, acontecendo, porém, o inverso com o teor de O_2 . Essas diferenças são devido à respiração dos microrganismos e raízes, que consomem O_2 e eliminam CO_2 . O crescimento e a atividade da microbiota do solo são governados pelas alterações na constituição do ar do solo, pois CO_2 e O_2 são necessários ao crescimento (Tsai et al., 1992).

A respiração basal é considerada um atributo do solo capaz de avaliar a atividade microbiana deste, sendo este atributo usado também para monitorar a decomposição dos

resíduos no solo. A matéria orgânica do solo é o grande reservatório do carbono no solo. As transformações que ocorrem com a matéria orgânica são dependentes da atividade dos microrganismos decompositores. Por isso os microrganismos do solo desempenham importante papel na fertilidade dos solos, pois são responsáveis pela ciclagem de nutrientes.

3.4.1.2. Carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS})

A matéria orgânica do solo é formada por vários compartimentos, um desses compartimentos é formado pelo carbono da biomassa microbiana. Trabalhos envolvendo análise da biomassa microbiana do solo podem fornecer informações extremamente úteis sobre a dinâmica de um reservatório lábil da matéria orgânica do solo. Isso pode ter conseqüências importantes no funcionamento do ecossistema e na qualidade do solo, refletindo em longo prazo, na produtividade (Wardle, 1994).

Os microrganismos do solo responsáveis pela decomposição dos resíduos vegetais e animais formam uma massa microbiana que está permanentemente em renovação. Em áreas geologicamente estáveis, com superfícies cobertas por longo tempo com um mesmo tipo de vegetação, o solo apresenta uma condição de equilíbrio dinâmico onde as perdas anuais de matéria orgânica são balanceadas com as entradas anuais (Cerri et al., 1992).

Pereira et al. (2007), salientam que avaliações da biomassa microbiana podem ser de grande utilidade como indicadores da qualidade do solo pois, precedem aquelas avaliações constatadas nos métodos tradicionais de avaliação dos teores de matéria orgânica e outras propriedades físicas e químicas do solo. Insam (2001) ressalta que, através da avaliação da biomassa microbiana do solo, é possível realizar comparações entre solos e mudanças de manejos, avaliando assim, os impactos ambientais causados. E, segundo Cardoso et al., (2009) o carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) tem sido apontado como o atributo mais sensível às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo. Devido ao tempo de vida dos microrganismos serem muito curto, eles promovem uma ciclagem muito rápida, sendo, portanto um indicador bastante sensível das mudanças ocorridas no solo devido ao cultivo e manejo.

3.4.1.3. Quociente metabólico (qCO₂)

O quociente metabólico, (qCO₂) representa a quantidade de C-CO₂ liberada em um determinado tempo, por unidade de C microbiano, ou seja, é um quociente que quantifica o quanto de carbono se perde na forma CO₂ pela biota do solo para incorporar carbono orgânico em seu tecido celular (C_{BMS}). Segundo Cerri et al. (1992), os microrganismos do solo controlam a maior parte das reações que integram o ciclo interno do carbono, conseguindo balancear globalmente a fotossíntese, através dos processos de respiração edáfica. Desse modo, à medida que uma determinada massa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO₂ pela respiração e uma maior proporção de carbono é incorporada ao tecido microbiano.

O quociente metabólico é uma importante ferramenta para avaliar os efeitos de mudanças de uso da terra sobre a atividade e a massa microbiana do solo. Pois ela avalia o efeito das condições de estresse a que o solo está submetido, sobre a atividade da biomassa microbiana, sendo, portanto, capaz de indicar a estabilidade do agroecossistema, ou seja, o estado de perturbação e estresse a que o solo está submetido. Monteiro & Gama-Rodrigues (2004), concluíram que o quociente metabólico (qCO₂) foi um indicador de estresse para a biomassa microbiana.. Através desse indicador é possível apontar o metabolismo dos microrganismos e a quantidade de energia que eles necessitam para manter sua atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da biomassa. Pereira et al. (2007), evidenciaram o potencial de utilização do atributo qCO₂ como indicador de qualidade do solo e da sustentabilidade agrícola.

3.4.1.4. Quociente microbiano (qMIC)

O índice obtido através da relação entre o C_{BMS}:C_{org} (C da biomassa microbiana e o C orgânico do solo) serve para avaliar a qualidade da matéria orgânica do solo. Quanto maior for essa relação significa que está ocorrendo maior eficiência dos microrganismos em fixar o carbono do solo. Essa maior eficiência de conversão de carbono do solo em carbono microbiano é encontrada em matéria orgânica de boa qualidade.

O quociente microbiano fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica. Um sistema, no qual a biomassa é estressada, é incapaz de utilizar totalmente o carbono, como poderia ocorrer se o estresse não ocorresse. Nesse caso, a relação C_{BMS}:C_{org} diminui. Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade, a massa microbiana pode

aumentar rapidamente, mesmo se os níveis do carbono orgânico permanecem inalterados (Wardle, 1994).

Conhecendo-se o valor de equilíbrio da relação $C_{BMS}:C_{org}$ de um solo, esta razão pode fornecer uma indicação sobre o quanto um solo está distante do seu estado de equilíbrio. Em muitos solos e ecossistemas não perturbados, assume-se a existência de um estado de equilíbrio, sendo que a quantidade de C fixada anualmente pela fotossíntese é contrabalanceada por quantidade similar de C liberada para a atmosfera na forma de CO_2 (Assad, 1997).

Alvarenga et al. (1999) estudando solos de Cerrado sob diferentes usos concluíram que o ecossistema natural de Cerrado apresentou maior teor de C_{BMS} e maior relação $C_{BMS}:C_{org}$, indicando maior equilíbrio natural em termos de desenvolvimento das plantas. Carneiro et al. (2009), observaram que nos solos cultivados, o C_{BMS} e a relação $C_{BMS}:C_{org}$ foram reduzidas, em relação ao Cerrado.

3.4.1.5. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS})

Segundo Moreira & Siqueira (2006), 96% do total do nitrogênio orgânico terrestre, encontra-se na matéria orgânica morta e, apenas 4% nos organismos vivos, de modo que 96% do nitrogênio da matéria viva encontram-se predominantemente nas plantas e apenas 6% nos seres vivos, sendo 4% na microbiota e 2% nos animais. Aproximadamente 95 % do nitrogênio do solo estão na forma orgânica. Através da ação dos microrganismos ocorre os processos de mineralização e imobilização, transformando em torno de 2 a 5% do nitrogênio orgânico em nitrogênio mineral. A adubação orgânica aumenta os teores de MOS, a qual será mineralizada e nutrientes, incluindo o N serão disponibilizados para as plantas. O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana dos solos são muitos mais sensíveis em detectar mudanças no solo, devido ao manejo, quando comparados com os teores total de carbono e nitrogênio.

A importância desses índices para a sustentabilidade do solo está no fato de que a ciclagem do carbono e do nitrogênio microbiano é mais rápida do que a de outras frações da matéria orgânica, tornando esses nutrientes prontamente disponíveis para as plantas, em um menor intervalo de tempo.

3.4.1.6. Relação $N_{BMS}:N_{total}$

Da mesma forma, a eficiência de conversão do nitrogênio do solo em nitrogênio microbiano pode ser obtida através da relação entre $N_{BMS}:N_{total}$ (N da biomassa microbiana e o N total do solo). Quanto maior a relação $N_{BMS}:N_{total}$, maior é a capacidade da microbiota do solo em imobilizar o nitrogênio disponível em sua biomassa, representando uma fração lábil desse nutriente para as plantas.

As relações $C_{BMS}:C_{org}$ e $N_{BMS}:N_{total}$ expressam a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar carbono e nitrogênio em função da qualidade nutricional da matéria orgânica.

3.4.2. Atributos físicos

Fisicamente, o solo é definido como sendo um sistema heterogêneo, constituído de fases sólida, líquida e gasosa. Nesse sistema atuam os microrganismos que dão ao solo propriedades peculiares, diferenciando-o de uma mistura qualquer de partículas sólidas. O resultado é um meio favorável para o desenvolvimento vegetal e a produção agrícola (Raij, 1991).

O solo mineral é composto de agregados, mais ou menos porosos, de partículas minerais, misturado em várias proporções com a matéria orgânica decomposta e em decomposição. Nele, os fragmentos menores encontram-se ou recobertos ou envolvidos de géis coloidais e outros materiais em estado de grande subdivisão (Vieira, 1988).

Do ponto de vista ecológico e global, a particularidade principal do solo é a sua capacidade de possibilitar o crescimento das plantas, sustentando a produção primária contínua, (Assad, 1997). Numa perspectiva agrícola, um solo ideal é composto de 45% de minerais, 5% de matéria orgânica e 50% de espaço poroso, com o espaço poroso preenchido, metade com água e metade com ar, (Gliessman, 2001). Um solo bem arejado, do ponto de vista microbiológico, é aquele em que a atividade de oxigenação é máxima (Tsai et al., 1992).

O cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, tal como aquele encontrado em campos nativos. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e o desenvolvimento das plantas, (Bertol et al., 2004). Souza et al. (2005) concluíram que os sistemas de colheita de cana-de-açúcar altera atributos físicos do solo até a profundidade de 0-30 m.

Diferente do que acontece quando se faz a colheita manual da cana-de-açúcar, a colheita mecanizada favorece o aumento da densidade do solo e prejudica a porosidade do solo, prejudicando a infiltração e retenção de água no solo. Porém o problema pode ser minimizado, pois a cobertura do solo com os resíduos vegetais diminui esses impactos além de evitar o escoamento superficial da água no solo. O sistema de colheita da cana-de-açúcar sem queima e com incorporação parcial dos resíduos melhora as condições físicas do solo e aumentam o potencial produtivo da cana-de-açúcar (Souza et al. 2005).

3.4.3. Atributos químicos

O entendimento das modificações nas propriedades químicas do solo, decorrente do cultivo contínuo de cana-de-açúcar, pode fornecer elementos para produção em bases sustentáveis, (Canellas et al., 2003). Segundo Maia & Ribeiro (2004), o manejo adotado no cultivo da cana-de-açúcar afeta negativamente as propriedades químicas dos solos. Os autores concluíram que com o tempo de cultivo, há redução significativa do cálcio, magnésio, saturação por bases, capacidade de troca de cátions e C orgânico.

A matéria orgânica que é responsável pela sustentabilidade desses solos, está sendo degradada, com perdas apreciáveis, sem a correspondente reposição e manejo necessários à manutenção de sua atividade e otimização de suas funções no solo, (Silva & Resck, 1997). A matéria orgânica do solo (MOS) é um atributo muito útil na avaliação da qualidade do solo. Daí a importância de se conhecer os sistemas de cultivo que favoreçam a manutenção da MOS. Segundo Canellas et al. (2003), o cultivo da cana-de-açúcar, sem a queima da palhada, preserva a matéria orgânica na forma de resíduos vegetais, que naturalmente favorece a concentração de carbono, desse modo a lavoura fica mais tempo sem renovação.

A maior porção do C orgânico que entra no solo é aquela proveniente dos resíduos de plantas (parte aérea e raízes). De modo geral, considera-se que os tecidos das plantas contêm 58% de C com base no peso seco; por esta razão, usam-se o fator 1,724 na conversão de C para matéria orgânica (Silva & Resck, 1997).

A decomposição dos resíduos orgânicos depositados no solo é proporcionada pela comunidade microbiana do solo. Essa taxa de decomposição se torna mais elevada quando se há o revolvimento do solo, promovendo o rompimento dos agregados do solo, que expõe a matéria orgânica que ali estava protegida, à ação da microbiota.

A disponibilidade de nutrientes para as plantas é o reflexo da capacidade do solo em reter e disponibilizar elementos essenciais para a nutrição vegetal, capacidade que depende da

qualidade física, química e biológica de cada solo. Diversos indicadores têm sido adotados para representar a disponibilidade de nutrientes para as plantas entre os quais estão inclusos a soma de bases (S), a saturação de bases (V%).

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas culturas agrícolas em geral e, normalmente grande parte do nitrogênio mineral, fornecido ao solo através de adubações, é perdida. Weber & Mielniczuk (2009), concluíram que houve perda de 48% do N aplicado via fertilizante mineral na cultura do milho em estudo desenvolvido em um experimento de longa duração (22 anos), em um Argissolo Vermelho típico, no Rio Grande do Sul. Segundo Canellas et al. (2003), os teores de nitrogênio do solo foram alterados de acordo com os sistemas de manejo utilizados no cultivo da cana-de-açúcar. Na área de cana crua, ocorreu aumento de 47 e de 50% nos teores de N nas camadas entre 0-20 e 20-40 cm, respectivamente em relação aos valores obtidos na área de cana queimada.

Weber & Mielniczuk (2009), relatam que como o acúmulo de N total no solo ocorre lentamente, são necessários experimentos de longa duração para a observação do impacto de práticas de manejo do solo, sobre a disponibilidade e acúmulo desse nutriente no solo.

3.5. Estoque de carbono em solos cultivados com cana-de-açúcar

O estoque de carbono de um solo é o resultado do balanço entre a quantidade de carbono que foi adicionado ao solo e a perda deste, através de processos como a decomposição e a mineralização dos resíduos vegetais. O estoque de carbono no solo pode ser transitório ou de longo prazo e altera-se em função do uso da terra, manejo dos ecossistemas, drenagem do solo e uso inadequado dos recursos naturais (Costa et al., 2006).

Os estoques de carbono armazenados no solo podem ser drasticamente reduzidos quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, (Rangel & Silva, 2007; Szakács, 2007; Galdos et al., 2009). A capacidade do solo em armazenar carbono depende de fatores como o manejo aplicado ao solo, clima, além da qualidade dos resíduos que são depositados no solo.

O manejo do solo e a qualidade dos resíduos da cana-de-açúcar cultivada em sistema orgânico e convencional sem a queima do canavial possuem particularidades que favorecem o aumento de carbono no solo. A colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem queima do canavial possibilita o aporte de densa camada de palhada sobre o solo, (Luca et al., 2008). Galdos et al. (2009) verificaram que o sistema de cultivo convencional sem a queima prévia do canavial, pode atuar de maneira significativa no seqüestro de carbono, aumentando a

eficiência do agrossistema cana-de-açúcar. Nesse caso, o solo tende a funcionar como um compartimento seqüestrador de carbono atmosférico porque no processo de decomposição, parte da palhada é incorporada ao solo.

A qualidade dos resíduos vegetais da cana-de-açúcar que são depositados ao solo após a colheita também favorece o aumento dos teores de carbono orgânico no solo. Luca et al. (2008) observaram que a decomposição da palhada depositada proporcionou aumento no teor e no estoque de matéria orgânica em solos cultivados com a cana-de-açúcar.

A taxa de decomposição desses resíduos está diretamente relacionada com a relação carbono/nitrogênio. Como nos restos culturais da cana-de-açúcar essa relação é alta, não há excesso de nitrogênio no solo, o que reduz a atividade dos microrganismos decompositores que necessitam do N. Pois, conjuntamente à assimilação do C, ocorre assimilação do N pela biomassa microbiana, a fim de suprir suas demandas desse nutriente para a biossíntese celular, (Giacomini & Aita, 2008). Durante o processo de decomposição, o carbono pode ser perdido para a atmosfera na forma de CO₂ devido ao processo metabólico dos microrganismos decompositores.

Outro fator que influencia a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais é a quantidade inicial de nitrogênio disponível. O uso da adubação orgânica empregada no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar aumenta os teores da matéria orgânica no solo, a qual será mineralizada e os nutrientes, incluindo o N serão disponibilizados para as plantas.

Os três principais processos responsáveis pelas perdas de carbono no solo são a decomposição, volatilização, lixiviação e a erosão e os processos responsáveis pelos seqüestros são agregação, sedimentação e a humificação, (Paula & Valle, 2007). Os micro-agregados protegem o carbono seqüestrado no solo da degradação microbiana (Costa, 2008).

O seqüestro de carbono tem como objetivos diminuir e reverter a concentração de CO₂ que são emitidos para a atmosfera e, dessa forma, reduzir o efeito estufa (Carmo et al., 2007).

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A.C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica Lavras**, v. 23, n. 3, p. 617-625, jul/set., 1999.

AQUINO A. M. de, e ASSIS, R. L. de. Agricultura orgânica e áreas urbanas e periurbanas com base na agroecologia. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 1, p. 137-150, 2007.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M., ed. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 542p.

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

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana de açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S. e CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n. 6, p.631-637, 2009.

CARMO, C. A. F. S. do.; MANZATTO, C. V.; ALVARENGA, A. de P. Contribuição da seringueira para o seqüestro de carbono. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 28, n. 237, p. 24-31, mar/abr. 2007.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 195-203, abr-jun, 2007.

CERRI, C. C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B. P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do Solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores biológicos de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1381-1396, 2007.

CONAB. Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2009/2010: Terceiro levantamento – Dezembro de 2009. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2009, 12 p.

COSTA, C. J. **Oportunidades de mitigação das emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário.** Embrapa Cerrados – Planaltina-DF. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/101482.htm> . Acesso em 28 de fevereiro de 2009.

COSTA, A. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul., 2006.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A. & MIELNICZUL, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

ESTADOS UNIDOS, Department of Agriculture. Grupo de estudos sobre a agricultura orgânica. **Relatório e recomendações sobre agricultura orgânica/Tradução de Iara Maria Correia Della Senta.** – Brasília: CNPq/ Coordenação Editorial, 1984. 128p.

FAEG - FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE GOIÁS. **Posicionamentos e Recomendações do Sistema Sindical Rural referentes à Expansão da Cultura da Cana-de-açúcar em Goiás: Bases para Discussão.** Goiânia: FAEG/SENAR, 2007. 35p.

FALEIRO, F. G.; GAMA, L. C.; FARIAS NETO, A. L. de; SOUSA, E. dos S. de. O simpósio nacional sobre o Cerrado e o Simpósio Internacional sobre Savanas tropicais. In: FALEIRO, F. G e FARIAS NETO, A. L. de. **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais.** Planaltina – DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1198 p

FRAGOSO, C. ROJAS, P.; BROWN, G. The role of soil macrofauna in the paradigm of tropical soil fertility: some research imperatives. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Eds.). **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 421-428.

GALDOS, M.V., CERRI, C.C., CERRI, C.E.P. 2009. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma** doi:10.1016/j.geoderma.2009.08.025.

GIACOMINI, S. J. & AITA, C. Emissão de dióxido de carbono após aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 107-114, jan. 2008.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** 2 ed. – Porto Alegre: E. Universidade/UFRGS, 2001. 653p.

GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. de O. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: FALEIRO, F. G e FARIAS NETO, A. L. de. **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais.** Planaltina – DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1198 p.

GONÇALVES, N. H. Manejo do solo para implantação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba, CP 2, 2006. 415 p.

INSAM, H. Developments in soil microbiology since the mid 1960s. **Geoderma** 100, 389-402, 2001.

JENDIROBA, E. A expansão da cana-de-açúcar e as questões ambientais. In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. de S. **Expansão e Renovação de Canavial**. Piracicaba, CP 2, 2006. 415 p.

LUCA, E. F. de; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C. & MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 789-800, 2008.

MAIA, J. L. T. & RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fagipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1127-1132, Nov. 2004.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C. V. T.; RIBEIRO, G. M. & ALMEIDA, D. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 655-665, 2007.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO), **Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003**. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do>. Consultado em 22 de março de 2010.

MIRANDA, J. R. **Sustentabilidade Agrícola e Biodiversidade Faunística – O caso do cultivo orgânico de cana-de-açúcar**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007. disponível em <http://www.biodiversidade.cnpm.embrapa.br>. Acesso em : 11 nov. 2009.

MONTEIRO, M. T. & GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, Nitrogênio e Atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serrapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 819-826, 2004.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2ª edição atualizada e ampliada. – Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MORRIS, M. L. M. **Avaliação da qualidade do solo em sistema orgânico de cultivo**. Universidade de Brasília, 82p, 2007 (Dissertação de mestrado).

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. de; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, CP 2, 2006. 415 p.

MUELLER, C. C. & MARTHA JUNIOR, G. B. A agropecuária e o Desenvolvimento Socioeconômico Recente do Cerrado. In: FALEIRO, F. G e FARIAS NETO, A. L. de. **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos**

naturais. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1198 p.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, n.74, p. 45-53, 2007.

PAULA, T. A. & VALLE, C. M. **Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática.** In: Anais do II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa – PB, 2007.

PEIXOTO, R. T. dos G. Compostagem: Princípios, práticas e prespectivas em sistemas orgânicos de produção. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. **Agroecologia: Princípios e técnicas para u agricultura orgânica sustentável.** Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 517p.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L. M. de O.; CAMPO, R. J. & TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1397-1412, 2007.

PRIMAVESI, A. M. **Agroecologia e manejo do solo.** *Agriculturas* – v. 5, n. 3, setembro de 2008.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo, Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. p. 343.

RANGEL, O. J. P. & SILVA, C. A. Estoques de Carbono e Nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

SAMPAIO, D. B.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 2, p. 353-359, mar./abr., 2008.

SEGATO, S. V. & PEREIRA, L. L. Colheita da cana-de-açúcar: corte manual. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E. e NÓBREGA, J. C. M. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba, CP 2, 2006, 415 p.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. e MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E. e NÓBREGA, J. C. M. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba, CP 2, 2006, 415p.

SILVA, J. E. da & RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M., ed. **Biologia dos solos dos Cerrados.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 542p.

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

SZAKÁCS, G. G. J. **Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 106p, 2007 (Tese de Doutorado).

TSAI, S. M.; BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre os microrganismos do solo umidade e aeração. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do Solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.

VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M., ed. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 542p.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo: com ênfase aos Solos Tropicais**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1988. 464p. ilustr. 2ª edição.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. – Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994. 542p. (EMBRAPA-CNPAF, Documentos, 46).

WEBER, M. A. & MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 429-437, 2009.

CAPÍTULO 1

ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO, NITROGÊNIO TOTAL E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, SOB CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar pode ser cultivada em sistema convencional ou orgânico. Normalmente, a cana é implantada em áreas sob pastagens. O manejo altera as propriedades químicas e físicas do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar alguns atributos físicos e químicos, em solos cultivados com a cana-de-açúcar, comparados com áreas sob pastagem e cerrado nativo. Foram quantificados os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo, a densidade do solo e a porosidade total, em cinco sistemas de uso do solo: Sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar (CO); Sistema de cultivo convencional sem a queima e com a queima da palhada da cana-de-açúcar (CC e CQ), e dois sistemas que serviram como referência: pastagem (PT) Cerrado nativo (CE). Foi feito um estudo observacional onde as variáveis foram observadas em dois tempos: agosto/2008 e agosto/2009 e seis profundidades: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 e 50-60 cm. As amostras de solo foram coletadas após o 4º e 5º corte do canavial. O maior teor foi observado na área de Cerrado, em seguida a cana orgânica. Os menores teores de carbono foram obtidos nas áreas de cana crua e queimada. O teor de nitrogênio total no solo diminui conforme aumenta a profundidade. Houve declínio do nitrogênio total do solo com a conversão de área de Cerrado e pastagem para o cultivo da cana-de-açúcar. Os sistemas de manejo dos solos, com exceção do sistema de cultivo orgânico, promoveram aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total, em relação ao Cerrado. As menores densidades do solo foram observadas no Cerrado e na área de cana sob cultivo orgânico, e ambos não diferiram entre si em todas as profundidades estudadas.

Palavras chave: Cerrado, cultivo orgânico, densidade do solo, atributos do solo, agricultura sustentável.

ABSTRACT

SOIL CARBON AND NITROGEN STORAGE AND SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES IN ORGANIC AND CONVENTIONAL SUGAR CANE SYSTEM PRODUCTION, WITH AND WITHOUT BURNING

Sugar cane crop can be cultivated in conventional or organic systems. In general, sugar cane is established in areas with previous pasture planting. Soil management changes chemical and physical soil properties. The aim of this work was to evaluate some physical and chemical attributes in soils cultivated with sugar cane, compared to areas under pasture and native cerrado. Soil carbon and nitrogen storage, soil bulk and soil porosity were quantified on five soil management: sugar cane organic system, sugar cane conventional system without burning, sugar cane conventional system with burning and two systems used as reference areas: pasture and native cerrado. An observational was made where the variables were collected at two periods: August/2008 and August/2009 and six soil layers: -10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm. Soil samples were collected after 4^o and 5^o sugar cane harvest. The higher carbon value was obtained in the cerrado area, followed by organic sugarcane. The lower values were obtained on conventional and burnt sugar cane. Total nitrogen soil content decreased with depth and there was a decline in total nitrogen with the convention of cerrado and pasture to sugarcane cultivation. All soil management systems, with exception of organic area, promoted an increase in soil density and a decrease in total porosity, in relation to the cerrado area. The lowest soil densities were observed in cerrado and orgânico sugar cane cultures.

Key words: cerrado, organic system, soil density, soil attributes, sustainable agriculture

4.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área colhida na safra 2009/2010 estimada em 7.531 mil hectares, e o país lidera a tecnologia de produção do etanol, com uma produção estimada de 612.211, 20 mil toneladas de cana, na safra 2009/2010 (Conab, 2009). Em busca por maiores produções da cana-de-açúcar, o Cerrado brasileiro por possuir um enorme potencial para atividades agrícolas devido aos seus solos com boas condições físicas para a mecanização e um relevo bastante plano fez com que esse bioma tenha sido alvo das recentes expansões da cultura da cana-de-açúcar, (Mueller & Martha Júnior 2008).

No Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada em diferentes sistemas de produção, tais como o sistema de plantio direto, o sistema de cultivo orgânico e o tradicional sistema de cultivo convencional, e neste último, durante a colheita da cana, pode haver a queima da palhada antes da colheita, quando esta é manual, (Miranda & Avelar 2008; Galdos et al., 2009; Duarte Júnior & Coelho, 2008). Tem-se bastante conhecimento acumulado sobre o manejo do solo praticado no sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar. Porém, por ser relativamente recente a adoção do sistema de cultivo orgânico na cultura da cana-de-açúcar, há poucas informações disponíveis.

As práticas agrícolas de baixa sustentabilidade que expõem os solos a processos de erosão, compactação, redução dos níveis de matéria orgânica, além de fatores como a fertilização inadequada, a queima dos restos culturais e o cultivo intensivo das terras, fazem com que a agricultura seja responsável por grandes perdas de carbono no solo (Lima, 2000). Os estoques de carbono armazenados no solo podem ser drasticamente reduzidos quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, (Rangel & Silva, 2007; Szakács, 2007; Galdos et al., 2009). A capacidade do solo em armazenar carbono depende de fatores como o manejo aplicado ao solo, clima, além da qualidade dos resíduos que são depositados no solo. Fialho et al., (2006) observaram redução de aproximadamente 23 % no teor de carbono orgânico total em solos cultivados em relação à mata natural.

Recentes estudos têm mostrado que os sistemas de produção conservacionistas, tais como o sistema de plantio direto, sistema de cultivo mínimo e o sistema de cultivo orgânico através de práticas como a inclusão de leguminosas e a rotação de culturas proporcionaram melhorias em alguns atributos do solo, e armazenaram carbono no solo evitando o seu retorno à atmosfera, (Perez et al., 2004; Bayer et al., 2006; Duarte Júnior & Coelho, 2008). Foram verificados efeitos positivos relacionados à diminuição da densidade do solo; aumento nos

estoque de carbono orgânico e nitrogênio e da porosidade total do solo (Costa et al., 2006; Galdos et al., 2009; Dick et al., 2008). Galdos et al. (2009) verificaram que o sistema de cultivo convencional sem a queima prévia do canavial, pode atuar de maneira significativa no seqüestro de carbono, aumentando a eficiência do agrossistema cana-de-açúcar. Luca et al., (2008) relatam que a supressão da queima resultou em aumentos no estoque de C (0-20 cm) de 6,3 t.ha⁻¹. Pinheiro et al. (2007) também verificaram que o sistema de colheita sem a queima da palhada da cana apresentou maior estoque de carbono no solo do que o sistema com queima.

Luca et al. (2008) reportam que ocorre compactação de solo arenoso nas camadas superficiais do solo (0-10 e 10-20 cm) sob o manejo de cana sem queima, devido ao uso de máquinas para a realização da colheita que causou aumento da densidade do solo. Souza et al., (2005) verificaram que em áreas cultivadas com cana crua e cana queimada houve aumento na densidade de solo até a profundidade de 0-30 cm. Esses autores verificaram maior densidade do solo nas áreas de cana crua do que nas áreas de cana queimada nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

O objetivo deste estudo foi quantificar os estoques de carbono orgânico, nitrogênio total, a densidade do solo e a porosidade total, em solos cultivados com cana-de-açúcar no sistema de cultivo orgânico e no sistema de cultivo convencional com e sem queima, comparando-os com uma área de Cerrado nativo e uma área de pastagem.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Características do solo e sistemas de manejo em estudo

O estudo foi realizado utilizando-se amostras de Latossolo Vermelho, relevo plano a suave ondulado. As amostras de solos foram coletadas em áreas da Empresa Jalles Machado S/A, no município de Goianésia, localizada no centro do estado de Goiás a 15°10' S de latitude e 49°15' W de longitude, com 640 m de altitude. O clima da região é caracterizado, segundo Köppen como tropical de savana, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), apresentando temperatura média anual de 18 a 32 °C e precipitação pluvial média anual em torno de 1500 mm. No (Anexo A) são apresentadas as médias mensais de precipitação e temperatura e no (Anexo G), encontra-se a caracterização física e química dos solos em estudo.

Esta pesquisa trata de um estudo observacional onde cinco sistemas foram estudados e as variáveis foram observadas em dois tempos (época seca e chuvosa) e duas profundidades (0-10 e 10-20 cm).

Na avaliação dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo foram selecionadas cinco áreas, (uma para cada sistema de uso do solo). Das cinco áreas, três são cultivadas com cana-de-açúcar, sendo elas semelhantes quanto ao número de cortes (3º corte). Duas áreas serviram referência: uma sob Cerrado nativo e a outra cultivada com pastagem. No (Anexo B) encontra-se as características das áreas em estudo.

Os sistemas de uso do solo avaliados foram: sistema de cultivo orgânico (CO), sistema de cultivo convencional sem a queima da cana antes da colheita (CC) e sistema de cultivo convencional com a queima da cana antes da colheita (CQ) e duas áreas que serviram como referências: Cerrado nativo (CE) e pastagem (PT), (Anexo D). A escolha desses sistemas de produção foi feita com base nos sistemas de cultivo da cana-de-açúcar praticados no Brasil. Os dados obtidos foram comparados com área cultivada com pastagem, porque a expansão da cana-de-açúcar está ocorrendo em áreas que antes era cultivada com pastagem. A área de Cerrado representa um sistema em equilíbrio que foi utilizado como referencial para a avaliação das alterações nas propriedades biológicas, físicas e químicas do solo devido ao cultivo do solo com a cana-de-açúcar.

4.2.2 Preparo do solo, adubação e colheita

O preparo do solo nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar constitui basicamente das seguintes operações: grade pesada por duas ou três vezes para eliminação da soqueira anterior; grade intermediária para destorroar o solo; subsolagem seguida de grade leve para nivelamento do solo. Durante as operações de preparo do solo, se faz também a adubação de plantio, com base em análise prévia do solo. O preparo do solo se dá apenas na época da reforma dos canaviais, ou seja, após o quinto ou sexto corte (colheita). Nos (Anexos H, I e J) encontra-se a relação de adubos e corretivos usados nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar.

Na área cultivada com cana orgânica as adubações fosfatadas e potássicas, são feitas utilizando-se tortas de filtro, a qual é distribuída na área. Na área de cana crua, os fertilizantes de cobertura são distribuídos sobre a palhada, na linha de cultivo, e na área cultivada com a cana queimada os fertilizantes foram distribuídos sobre o solo, na linha de cultivo da cana.

A colheita da cana orgânica e crua é feita utilizando-se máquina que corta a cana, pica e distribui sobre o transbordo, que trafega paralelamente a esta. Durante a colheita a máquina lança os resíduos leves sobre o solo. A colheita da cana queimada é manual, antes da colheita, queima-se a palhada para facilitar o corte para os trabalhadores. Nesse tratamento a cana é cortada manualmente e, usando-se trator equipado com grua a cana é colocada no transbordo o qual é tracionado por um trator.

4.2.3 Amostragem do solo

As amostragens de solo foram feitas logo após a colheita da cana-de-açúcar. A primeira coleta foi feita entre os dias 30 de julho a 6 de agosto de 2008, uma semana após a terceira colheita (corte) da cana. A segunda coleta foi realizada entre os dias 24 a 31 de agosto de 2009, após a quarta colheita (corte) da cana.

4.2.4 Procedimentos da amostragem do solo

Após a escolha das áreas a serem avaliadas, pegou-se o croqui dessas áreas, as quais estavam divididas em quadrados de 100 x 100 m (um hectare), todos georeferenciados. Cada área continha número de quadrados equivalente à sua área, por exemplo, a área de cana crua possui 123 hectares, (Anexo E), portanto foram 123 quadradinhos, esses foram

numerados de 1 a 123, posteriormente, sorteou se cinco destes pontos. Na área de cana crua, os pontos sorteados foram: 84, 85, 92, 95 e 104. Para cada área estudada, cada ponto representou uma repetição, totalizando, portanto cinco repetições.

Após o sorteio dos pontos, com o auxílio de um GPS chegou se até o local. Em cada um destes cinco pontos demarcou-se o local onde foram abertas duas trincheiras, as quais ficaram distanciadas 50 m uma da outra. As trincheiras foram abertas para a coleta das amostras para a obtenção da densidade do solo (Anexo F). As amostras de solo foram coletadas com trado para amostra indeformada. Foram feitas coletas nas camadas de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 e 50-60 cm de profundidade e a 30 cm da linha de cultivo da cana-de-açúcar. Antes da coleta das amostras de solo, foram removidos os resíduos vegetais presentes na superfície do solo.

Em volta de cada trincheira, num raio de 10 m de distância, foram coletas 5 amostras deformadas simples, obtendo se ao total 10 amostras simples para formar uma amostra composta, por camada de solo. Para as avaliações dos atributos químicos do solo foram feitas coletas nas camadas de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 e 50-60 cm de profundidade. Estas amostras foram coletadas com um trado comum e colocadas em recipiente plástico (balde de 20 litros) para homogeneizar. Depois de homogeneizadas foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados. Esse mesmo procedimento foi repetido em todas as áreas. Porém, na área de Cerrado nativo, as trincheiras foram abertas manualmente, pois não se podia entrar com a retro escavadeira dentro da mata.

4.2.5 Análises laboratoriais

As análises físicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Biologia do Solo da Universidade de Brasília (UnB).

4.2.5.1 Análises físicas

Para a determinação da densidade do solo, densidade de partículas e da porosidade total foi utilizada as metodologias propostas pela (Embrapa, 1997).

4.2.5.2 Análises químicas

No laboratório, as amostras de solo foram novamente homogeneizadas, retirando-se restos de raízes ou resíduos vegetais e peneiradas (4 mm de abertura). Posteriormente, procedeu-se a pesagem do solo para a avaliação dos atributos químicos.

4.2.5.2.1 Carbono orgânico

O carbono orgânico foi calculado pelo método da oxidação via úmida, (Walkley-Black, 1934). Pesaram-se 0,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA), passada em peneira 0,50 mm, a amostra foi transferida para erlenmeyers de 500 ml, onde foram adicionados 10 ml da solução de dicromato de potássio 1 N e agitou-se. Em seguida adicionaram-se 20 ml de ácido sulfúrico e a amostra foi deixada em repouso por trinta minutos. Após o repouso, adicionaram-se 200 ml de água destilada, 10 ml de ácido fosfórico e 1 ml do indicador ferroína. Fez-se o mesmo procedimento com o branco (sem solo). Posteriormente, procedeu-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,5 N, até a viragem para a cor verde.

Calculou-se o teor de matéria orgânica da seguinte forma:

$$\text{M.O}_{\text{total}} (\%) = 10 \times (1 - A/B) \times 1,34.$$

Onde: A = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra e B = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco.

O teor de C orgânico foi obtido pegando-se o percentual total de matéria orgânica ($\text{M.O}_{\text{total}} \%$), convertendo-o em g kg^{-1} . Pegou-se o teor de MO em g kg^{-1} e dividiu-o pelo fator 1,724. Esse fator é admitido em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%.

4.2.5.2.2 Nitrogênio total

O nitrogênio total foi determinado de acordo com Bremner & Mulvaney (1982). Pesaram-se 0,2 g de terra fina seca ao ar (TFSA), transferiu-se para tubos de ensaio, adicionaram-se 0,8 g da mistura catalítica ($10 \text{ K}_2\text{SO}_4 + 1 \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), mais 3 ml de H_2SO_4 concentrado. Os tubos foram agitados e levados ao bloco digestor a 335°C , por 45 minutos. Esperou-se que os tubos de ensaio resfriassem e adicionou-se 1 ml de água oxigenada para clarear a solução. Posteriormente, acrescentaram-se em cada tubo de ensaio 10 ml de água

destilada. Essa mistura digerida foi então destilada em erlenmeyer contendo 10 ml de ácido bórico a 2 %. O destilado foi titulado com ácido sulfúrico 0,003 N. O nitrogênio total foi calculado por meio de uma equação de regressão linear.

4.2.6 Estoque de carbono e nitrogênio

Os estoques de carbono e nitrogênio foram calculados associando-se o teor de carbono orgânico e nitrogênio total encontrado nas diferentes camadas (Tabela 2.1 e 2.2) com a sua respectiva densidade do solo (Tabela 2.3). Foi feito também um ajuste no cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio, de modo que as camadas de solo possuísem a mesma massa de solo do tratamento utilizado como referência (Cerrado). O processo de ajuste da massa de solo foi de camada a camada seguindo a diferença entre a densidade do solo de cada camada.

4.3. Análise estatística

O modelo utilizado na análise dos dados foi o seguinte:

$$y_{ijkl} = \mu + S_i + R_j(S_i) + E_k + (SE)_{ik} + R_j E_k(S_i) + P_l + (SP)_{il} + (EP)_{kl} + (SEP)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

S_i é o efeito do sistema i

$R_j(S_i)$ é o efeito amostra j dentro do sistema i

E_k é o efeito da época k

$(SE)_{ik}$ é o efeito da interação sistema x época

$R_j E_k(S_i)$ é o efeito da interação repetição x época dentro de sistema

P_l é o efeito da profundidade l

$(SP)_{il}$ é o efeito da interação sistema x profundidade

$(EP)_{kl}$ é o efeito da interação época x profundidade

$(SEP)_{ikl}$ é o efeito da interação sistema x época x profundidade

ε_{ijkl} é o erro.

É um modelo misto onde S_i , E_k , $(SE)_{ik}$, P_l , $(SP)_{il}$, $(EP)_{kl}$ e $(SEP)_{ikl}$ são efeitos fixos; $R_j(S_i)$ e $R_j E_k(S_i)$ são efeitos aleatórios; ε_{ijkl} é um erro aleatório.

O método de análise foi o máxima verossimilhança restrita, descrito por (Searle et al. 1992). Por não ser um experimento e sim um estudo observacional, não se conhece a estrutura

de variâncias e covariâncias dos dados e por isso foi conduzido um estudo estatístico para se indicar a melhor estrutura. Também foram conduzidos dois outros estudos: Um para verificar aproximação normal dos dados e o segundo para a detecção de medidas discrepantes. As técnicas para os três estudos estão descritas em Littel et al., (2006). A parte computacional de análise estatística foi feita com o SAS (2003).

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1. Carbono orgânico

Os teores de C orgânico foram influenciados pelas camadas de solo, em todos os sistemas estudados (Tabela 1.1). De maneira geral, o teor de carbono no solo diminui com o aumento da profundidade.

Observa-se, que em todas as camadas estudadas o teor de C orgânico foi maior no sistema de cultivo orgânico do que no sistema de cultivo convencional, com e sem a queima da palhada (Tabela 1.1). Esses dados demonstram que o cultivo orgânico da cana-de-açúcar tem grande potencial em aumentar os teores de carbono do solo. Estudos têm indicado a tendência do potencial de sistemas de cultivo conservacionista em aumentar os teores de matéria orgânica no solo. Costa et al., (2008), em um estudo com o objetivo de avaliar o potencial de sistemas de preparo do solo e de culturas na conservação de C em um Argissolo Vermelho da Depressão Central do Rio Grande do Sul, verificaram que o balanço de carbono no solo foi sempre negativo sob o sistema de plantio convencional, ao contrário do solo cultivado sob o sistema de plantio direto, devido à maior adição de resíduos ao solo.

Tabela 1.1. Carbono Orgânico em solos cultivados com cana-de-açúcar e solos de Cerrado e pastagem, em seis camadas. Os dados representam as médias das duas épocas de amostragem.

Sistemas	Camadas (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
	----- CO (g kg ⁻¹)-----					
Cerrado	26,77 aA ⁽¹⁾	18,62 bB	14,75 abC	12,73 abD	10,53 aE	8,42 aF
Pastagem	17,83 cA	17,87 bA	14,21 bB	11,86 bC	10,10 aD	7,30 bE
Cana crua	10,21 eA	9,72 dA	8,29 dB	7,30 dBC	6,84 bC	5,38 cD
Cana queimada	13,48 dA	13,68 cA	11,92 cB	10,13 cC	8,02 bD	6,83 bE
Cana orgânica	23,00 bA	20,51 aB	15,68 aC	13,65 aD	11,17 aE	9,36 aF

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Na camada 0-10 cm, o maior teor de C orgânico foi observado no sistema Cerrado; nas demais camadas estudadas, em geral, o sistema de cultivo orgânico foi semelhante ao Cerrado e, superior à pastagem. Maia & Ribeiro (2004), estudando solos cultivados com cana-de-açúcar por períodos de dois e trinta anos relatam que o cultivo da cana por dois anos provocou perda de carbono, devido à remoção mecanizada da vegetação natural e à rápida decomposição da matéria orgânica, e que, após trinta anos de cultivo da cana, apesar dos

teores de carbono ainda ser menores que os do solo de mata, o solo se adaptou a um novo equilíbrio em decorrência das práticas de manejo adotadas ao longo de trinta anos de cultivo e à aplicação de vinhaça nos últimos dois anos. Fialho et al. (2006) observaram redução de aproximadamente 23 % no teor de carbono orgânico total em solos cultivados em relação à mata natural.

Em todas as camadas estudadas, o sistema cana crua foi inferior à cana queimada, com exceção da camada 40-50 cm. Resultados diferentes foram obtidos por Souza et al. (2005) que não verificaram diferenças significativas nos teores de matéria orgânica em solos sob cultivo com cana crua e cana queimada. Luca et al. (2008) descrevem resultados de um experimento em São Paulo onde os valores encontrados diferem dos valores encontrados neste trabalho. Esses autores relatam maior teor de carbono orgânico em solo cultivado com cana sob manejo sem queima da palhada, em relação ao solo cultivado com cana e queima da palhada. Os teores de carbono orgânico encontrados pelos autores variaram entre 18,1 a 27,2 g.kg⁻¹ (na camada de 0-10 cm) para cana queimada e cana crua respectivamente, enquanto nesse trabalho os valores variaram entre 10,21 a 13,48 g.kg⁻¹ na cana crua e cana queimada, respectivamente. Souza et al. (2005) em experimento avaliando o efeito de sistemas de colheita e manejo da cana crua e cana queimada relatam que o sistema cana queimada apresentou menores teores de matéria orgânica, em relação ao sistema cana crua.

Com exceção da camada de 0-10 cm e 50-60 cm, a área sob pastagem apresentou valor similar de C orgânico do solo em relação ao Cerrado, estando em concordância com os resultados encontrados por Azevedo e Sverzut (2007) que também não encontraram diferença significativa entre o teor de matéria orgânica do solo sob pastagem com o solo de mata natural. Esses resultados mostram que solos cultivados com pastagem, quando não degradadas, aumentam os teores de C orgânico no solo. Carneiro et al. (2008) discutem que o sistema radicular das gramíneas promovem maior entrada de carbono no solo.

4.4.2. Nitrogênio total

Os teores de N total, assim como o C orgânico, foram influenciados pelas profundidades em todos os sistemas estudados (Tabela 1.2). De maneira geral, o teor de N total no solo diminui conforme aumenta a profundidade, de modo que os maiores teores foram observados nas camadas superficiais do solo.

Tabela 1.2. Nitrogênio total nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica, em seis camadas. Os dados representam as médias das duas épocas de amostragem.

Sistemas	Camadas (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
	----- N total (g kg ⁻¹) -----					
Cerrado	2,42 aA ⁽¹⁾	1,46 aB	1,09 aC	0,95 aD	0,79 aE	0,64 aF
Pastagem	1,31 cA	1,31 bA	1,10 aB	0,83 bC	0,67 bD	0,55 bE
Cana crua	0,83 dA	0,77 dB	0,67 cC	0,61 cCD	0,55 cD	0,46 cE
Cana queimada	0,88 dA	0,88 cA	0,79 bB	0,67 cC	0,55 cD	0,49 bcD
Cana orgânica	1,55 bA	1,33 bB	1,08 aC	0,89 abD	0,75 abE	0,67 aE

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Em todas as camadas estudadas, o sistema de cultivo orgânico apresentou maior N total do que o sistema de cultivo convencional, com e sem a queima. Os maiores valores de N total observados no sistema de cultivo orgânico se devem em parte, ao uso de leguminosas que são utilizadas como adubo verde. Weber & Mielniczuk, (2009) concluíram que a adubação nitrogenada promove aumento nos estoques de N total, porém com efeito menor do que em relação à adoção de leguminosas.

Em relação à área de Cerrado nativo, o sistema de cultivo orgânico não diferiu estatisticamente deste, nas camadas 20-30 até 50-60 cm, porém nas camadas 0-10 e 10-20 cm, a área de Cerrado foi superior à área sob cultivo orgânico.

O sistema de cultivo orgânico foi superior ao sistema pastagem nas camadas 0-10 e 50-60 cm; nas demais camadas estudadas eles foram semelhantes. Azevedo & Sverzut (2007) verificaram que o uso do solo com pastagem reduziu o teor de nitrogênio no solo, o qual foi atribuído à exportação de nutrientes devido ao pastejo.

O N total na área de cana queimada foi superior à área de cana crua nas camadas 10-20 e 20-30 cm, nas demais camadas não houve diferença significativa entre ambos os sistemas. Os valores encontrados neste trabalho foram significativamente inferiores aos encontrados por Luca et al. (2008) que encontram valores variando entre 1,24 a 1,45 g.kg⁻¹ (na camada de 0-10 cm) para cana queimada e crua respectivamente. Nesse trabalho, os valores variaram entre 0,83 a 0,88 g.kg⁻¹ na cana crua e cana queimada, respectivamente.

4.4.3. Estoque de C orgânico

Nos cinco sistemas estudados, observou-se um maior estoque de carbono orgânico nas camadas superiores do solo, (Tabela 1.3). De modo que, no sistema de cultivo orgânico e no

Cerrado, há uma redução decrescente significativa no estoque de C da camada 0-10 cm para a camada 50-60 cm. Já no sistema de cultivo convencional com e sem queima não houve diferença estatística entre as camadas 0-10 e 10-20 cm e entre as camadas 40-50 e 50-60 cm. Na área sob cana queimada a redução nos estoques de C entre as camadas do solo, ocorre de forma mais nítida do que na área sob cana crua, onde, as reduções entre as camadas ocorrem de forma gradual, às vezes, uma camada não diferindo estatisticamente da outra. Em experimento com o objetivo de avaliar as modificações nas propriedades químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico pelo cultivo contínuo da cana-de-açúcar Maia & Ribeiro, (2004) observaram que o conteúdo de carbono diminuiu com a profundidade ao longo de todos os perfis estudados. Neves et al. (2007) também observaram que o estoque de carbono diminuiu conforme aumentou a profundidade.

Tabela 1.3. Estoque de carbono em áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica, em seis camadas. Os dados representam as médias das duas épocas de amostragem.

Sistemas	Camadas (cm)						0-60
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	
	----- Estoque C orgânico (Mg ha ⁻¹)-----						
Cerrado	26,57 aA ⁽¹⁾	18,44 aB	14,05 aC	12,22 aD	9,95 aE	8,11 aF	89,34 a
Pastagem	18,87 cA	18,10 aA	14,76 aB	12,25 aC	10,33 aD	7,42 abE	81,73 b
Cana crua	11,14 eA	10,21 cAB	8,79 cB	7,48 cBC	6,27 bC	5,49 bC	49,38 d
Cana queimada	13,74 dA	13,46 bA	11,77 bB	9,92 bC	7,48 bD	6,46 bD	62,64 d
Cana orgânica	22,23 bA	19,24 aB	15,09 aC	13,41 aD	10,79 aE	8,61 aF	89,37 a

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Em todas as camadas estudadas, o estoque de carbono foi maior no sistema de cultivo orgânico do que no sistema convencional com e sem queima da palhada (Tabela 1.3). No sistema de cultivo convencional, os estoques de carbono foram maiores na área queimada em relação à área de cana crua, nas camadas 0-10 a 30-40 cm, nas demais camadas foram semelhantes, resultando em diferença significativa entre esses dois sistemas na avaliação da camada 0-60 cm, sendo o sistema com queima superior ao sem queima. Os dados desse trabalho diferem dos dados de Luca et al. (2008) que relatam que a supressão da queima resultou em aumentos no estoque de C (0-20 cm) de 6,3 t.ha⁻¹. Pinheiro et al. (2007) também verificaram que o sistema de colheita sem a queima da palhada da cana apresentou maior estoque de carbono no solo do que o sistema com queima.

Na camada de 0 a 60 cm o estoque de C no sistema de cultivo orgânico apresentou quase 40 toneladas a mais do que no sistema de cultivo convencional com cana crua. Em relação à área de cana queimada o sistema de cultivo orgânico apresentou 26,73 t ha⁻¹ a mais do que na área de cana queimada. Na camada 0-60 cm o solo sob o sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar estocou a mesma quantidade de C que o solo do Cerrado.

4.4.5. Estoque de N total

Em todas as camadas estudadas o sistema de cultivo orgânico apresentou maior estoque de N total do que o sistema de cultivo convencional com e sem queima (Tabela 1.4). Nas camadas estudadas, não houve diferença significativa no estoque de N total, no sistema de cultivo convencional com e sem queima. Na camada de 0-60 cm o sistema de cultivo orgânico apresentou 1760 e 1780 kg ha⁻¹ de N total no solo a mais do que o sistema de cultivo convencional com cana crua e cana queimada, respectivamente.

Tabela 1.4. Estoque de nitrogênio total nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica, em seis camadas. Os dados representam as médias das duas épocas de amostragem.

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	0-60
----- Estoque N total (Mg ha ⁻¹)-----							
Sistemas	Camadas (cm)						
Cerrado	2,23 aA ⁽¹⁾	1,43 aB	1,03 bC	0,92 aD	0,75 aE	0,64 aF	7,00
Pastagem	1,42 bA	1,38 aA	1,18 aB	0,88 aC	0,73 aD	0,59 abE	6,17
Cana crua	0,93 cA	0,82 cB	0,75 cB	0,65 bC	0,57 bCD	0,50 bD	4,23
Cana queimada	0,90 cA	0,87 cAB	0,78 cB	0,66 bD	0,52 bE	0,47 bE	4,21
Cana orgânica	1,50 bA	1,25 bB	1,04 bC	0,88 aD	0,72 aE	0,61 aF	5,99

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade.

O estoque de N total, no sistema de cultivo orgânico foi inferior ao Cerrado apenas nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm, nas demais camadas eles foram estatisticamente semelhantes.

Dependendo do sistema adotado, o cultivo da cana-de-açúcar pode ser uma excelente alternativa para aumentar os estoques de carbono e nitrogênio no solo e diminuir a emissão de CO₂ para a atmosfera. A potencialidade da cana-de-açúcar no aumento dos estoques de carbono e nitrogênio no solo se deve principalmente a composição química da palhada, que

tem relação C/N variando entre 75 a 97 % (Trivelin et al., 1995; Oliveira et al., 1999). Isso faz com que a decomposição e mineralização da palhada seja lenta, desse modo o carbono e o nitrogênio permanecem mais tempo no solo, em forma estável. Oliveira et al. (1999) em estudo para avaliar as perdas de C, a decomposição e mineralização de constituintes da palhada da cana-de-açúcar, verificaram que no período de um ano houve redução de 22% da massa de material seco.

4.4.6. Densidade do solo (Ds) e Porosidade total (Pt)

Em todas as camadas estudadas a menor densidade do solo foi observada no sistema de cultivo orgânico em relação ao sistema de cultivo convencional, com e sem queima (Tabela 1.5). Conseqüentemente, em todas as camadas, as maiores porosidades total do solo, foram observados na área de cultivo orgânico do que na convencional (Tabela 1.6). É importante ressaltar que o tráfego de máquinas no sistema de cultivo orgânico é o mesmo que no sistema convencional cana crua, porém as diferenças na densidade do solo nesses sistemas são altamente significativas. O sistema de cultivo orgânico tem a mesma porosidade do solo que uma área de Cerrado nativo sem interferência antrópica. A maior porosidade no sistema de cultivo orgânico se deve, provavelmente, aos maiores teores de matéria orgânica, pois esta atua de forma positiva na estruturação do solo. Silveira Neto et al., (2006) concluíram que o conteúdo de matéria orgânica correlacionou-se inversamente com a densidade e diretamente com a porosidade total do solo.

Tabela 1.5. Densidade do solo nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica, em seis camadas. Os dados representam as médias das duas épocas de amostragem.

Sistemas	Camadas (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
	-----Densidade do solo (kg.dm ⁻³)-----					
Cerrado	1,03 c A ⁽¹⁾	1,08 c AB	1,11 c B	1,09 c B	1,06 d AB	1,10 d B
Pastagem	1,43 a B	1,39 a AB	1,39 a AB	1,40 a AB	1,37 a AB	1,34 a A
Cana crua	1,39 a B	1,44 a BC	1,41 a B	1,35 a AB	1,29 b A	1,27 b A
Cana queimada	1,21 b AB	1,19 b A	1,26 b B	1,26 b B	1,21 c AB	1,17 c A
Cana orgânica	1,09 c A	1,06 c A	1,08 c A	1,09 c A	1,10 d A	1,12 cd A

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade.

A densidade do solo e a porosidade total, no sistema de cultivo orgânico foram semelhantes à área de Cerrado em todas as camadas estudadas. Em experimento com o objetivo

de avaliar o efeito de sistemas de manejos e usos do solo nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho de Cerrado, Carneiro et al. (2009) verificaram que os manejos e usos do solo promoveram aumento na densidade do solo em relação ao Cerrado. Porém, o volume total de poros não foi influenciado pelos sistemas de uso e manejo do solo.

Tabela 1.6. Porosidade total nas áreas de Cerrado, pastagem, cana crua, cana queimada e cana orgânica, em seis camadas. Os dados representam as médias das duas épocas de amostragem.

Sistemas	Camadas (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
	-----Porosidade total (m ³ .m ³)-----					
Cerrado	59,40 a A ⁽¹⁾	59,62 a A	58,38 a A	59,26 a A	60,69 a A	59,15 a A
Pastagem	44,11 c A	45,25 c A	45,85 c A	45,89 c A	47,23 d B	48,39 c B
Cana crua	45,51 c A	43,81 c A	46,42 c AB	48,10 c B	50,26 c BC	51,62 b C
Cana queimada	53,11 b AB	53,55 b AB	51,43 b A	52,55 b AB	54,71 b B	57,13 a B
Cana orgânica	57,83 a A	60,15 a A	59,68 a A	60,03 a A	59,52 a A	58,50 a A

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Em relação ao sistema de cultivo convencional, as menores densidades e maiores porosidades foram observadas na área com queima, do que na área de cana crua, em todas as camadas estudadas. A menor densidade do solo observada na área de cana queimada se deve, provavelmente, ao fato da colheita da cana ser manual, o que diminui o tráfego de máquinas sobre o solo. Luca et al. (2008) reportam que ocorre compactação de solo arenoso nas camadas superficiais do solo (0-10 e 10-20 cm) sob o manejo de cana sem queima. Eles concluíram que o uso de máquinas para a realização da colheita causou aumento da densidade do solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Porém, em Latossolo Vermelho, observou-se maior densidade do solo nas áreas de cana queimada (colheita manual) do que nas áreas de cana crua (colheita mecanizada) na camada de 0 a 10 cm. Os autores comentam que a palhada sobre o solo proporciona efeito protetor, evitando o contato direto do rodado, permitindo maior dissipação de energia e contribuindo para a redução da densidade do solo submetido à colheita mecanizada da cana sem queima, comparado à colheita manual com queima. Souza et al. (2005) em áreas cultivadas com cana crua e cana queimada verificaram que os sistemas de manejo aumentaram a densidade de solo até a profundidade de 0-30 cm. Esses autores verificaram maior densidade do solo nas áreas de cana crua do que nas áreas de cana queimada nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

Nas áreas de cana queimada e cana crua, a densidade do solo (0 a 40 cm), variaram entre 1,19 a 1,44 kg dm⁻³. Luca et al., (2008) em estudo avaliando os efeitos da colheita mecanizada sem a queima do canavial sobre a densidade do solo, comparados ao método de colheita manual com a queima de canavial, em um Latossolo Vermelho, verificaram que as amplitudes de densidade variaram entre 1,21 a 1,44 kg.dm⁻³. Estes valores estão dentro do intervalo obtido neste trabalho. Souza et al. (2005) estudando um Latossolo Vermelho Amarelo encontram valores entre 1,50 a 1,58 kg.dm⁻³ em área de cana queimada e 1,50 a 1,62 kg.dm⁻³ em área de cana crua, entre as camadas de 0-10 a 20-30 cm.

No sistema de cultivo convencional com a queima da palhada, foi observado maior densidade do solo na camada 0-10 cm (1,21 kg.dm⁻³) do que na camada 10-20 cm (1,19 kg.dm⁻³). Isso se deve provavelmente, ao fato da superfície do solo nesse sistema ficar exposta aos impactos das gotas de chuva, após o período da colheita, onde geralmente, ocorrem grandes precipitações pluviométricas.

4.5. CONCLUSÕES

1. O estoque de C orgânico e N total são maiores no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar, do que no sistema de cultivo convencional, com e sem queima.
2. O sistema de cultivo orgânico estoca a mesma quantidade de C que o solo sob Cerrado nativo, até 60 cm de profundidade.
3. O estoque de N total, até a camada 20-30 cm, é maior no solo do Cerrado do que no solo sob cultivo orgânico da cana-de-açúcar e, são semelhantes da camada 30-40 até 50-60 cm.
4. A densidade do solo e a porosidade total no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar são semelhantes às do solo sob Cerrado nativo.
5. A densidade do solo é menor no sistema de cultivo orgânico do que no sistema de cultivo convencional.
6. A porosidade do solo é maior no sistema de cultivo orgânico do que no sistema de cultivo convencional.

4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, E. C. e SVERZUT, C. B. Alterações dos atributos físicos e químicos do solo sob pastagem no sudoeste do Estado de Mato Grosso. Edufimt. Cuiabá/MT. **Revista Agricultura Tropical**, v. 9, p. 7-23, 2006/2007.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.

BREMNER, J. M.; MULVNEY, C. S. Nitrogen total. In: **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, USA. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph nº9. p. 595-641, 1982.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. C.; REIS, D. F.; PEREIRA, H. S. & AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276-283, 2008.

CONAB. Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2009/2010: Terceiro levantamento – Dezembro de 2009. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2009, 12 p.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

COSTA, A. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul., 2006.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. A.; MIELNICZUK, J. e ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 633-640, maio 2008.

DUARTE JÚNIOR, J. B. & COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.576–583, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2º Edição, 1997. 212p.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S. de e SILVA JÚNIOR, J. M. T. da. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 250-257, 2006.

GALDOS, M.V., CERRI, C.C., CERRI, C.E.P. 2009. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma** doi:10.1016/j.geoderma.2009.08.025.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biocnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 3, p. 38-43, 2000.

LITTELL, R. C., MILLIKEN, G.A., STROUP, W.W., WOLFINGER, R.D. **SAS System for Mixed Models**. 2006.

LUCA, E. F. de; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C. & MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canaviais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 789-800, 2008.

MAIA, J. L. T. e RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fagipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1127-1132, 2004.

MIRANDA, J. R. & AVELLAR, L. M. de. Sistemas agrícolas sustentáveis e biodiversidade faunística: o caso da cana orgânica em manejo agroecológico. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente** - v.3, n. 2, p. 1-13, 2008.

MUELLER, C. C.; MARTHA JUNIOR, G. B. A agropecuária e o Desenvolvimento Socioeconômico Recente do Cerrado. In: FALEIRO, F. G e FARIAS NETO, A. L. de. **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1198 p.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, n.74, p. 45-53, 2007.

OLIVEIRA, M. W. de; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P. e PICCOLO, M. de C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G. e McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.567-573, 2004.

PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Estoques de Carbono e Nitrogênio num Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar: Influência da queima ou manutenção da palhada**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 21 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).

RANGEL, O. J. P. & SILVA, C. A. Estoques de Carbono e Nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

SEARLE, S.R., CASELLA, G. , McCULLOCH, C.E. **Variance Components**. Wiley.1992. SAS Institute. SAS STAT. Proc Mixed. Release 9.1. 2003.

SILVEIRA NETO, A. N. da; SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. e OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 29-35, 2006.

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

SZAKÁCS, G. G. J. **Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 106p, 2007 (Tese de Doutorado).

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira e cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-¹⁵N e uréia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. Na examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v. 37, p. 29-38, 1934.

WEBER, M. A. & MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 429-437, 2009.

5. IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR, SOBRE ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DO SOLO

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar pode ser cultivada em sistema convencional ou orgânico. Normalmente, a cana é implantada em áreas sob pastagens. O manejo altera os atributos biológicos do solo. O objetivo do trabalho foi estudar os efeitos dos sistemas orgânico e convencional (com e sem queima da palhada) de produção da cana-de-açúcar sobre indicadores biológicos de qualidade do solo, comparados às áreas de pastagem e Cerrado nativo. Foram coletadas amostras de solo nas épocas seca e chuvosa e nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Em áreas sob cana-de-açúcar orgânica, convencional sem queima, convencional queimada, pastagem e cerrado nativo; foram avaliados os atributos biológicos do solo. As práticas de manejo reduziram o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, nas áreas estudadas, em relação ao cerrado nativo. O sistema orgânico de produção da cana-de-açúcar foi o que provocou menores reduções nos atributos biológicos, em relação à área de cerrado. Houve uma tendência de redução nos teores dos atributos biológicos com o aumento da profundidade do solo. O quociente metabólico do solo, de maneira geral, foi maior na área de cana queimada nas duas épocas avaliadas.

Palavras-chave: agricultura orgânica; respiração basal; atributos do solo; biomassa microbiana; densidade do solo.

ABSTRACT

IMPACT OF CONVENTIONAL AND ORGANIC SUGAR CANE SYSTEMS WITH AND WITHOUT BURNING ON BIOCHEMICAL SOIL ATTRIBUTES

Sugar cane crop can be cultivated in conventional or organic system. In general, sugar cane is established in areas with previous grass planting. Soil management changes biological soil attributes. The aim of this work was to study the effects of organic and conventional sugar cane systems (with or without litter burn), on microbiological indicators of soil quality, compared to areas under pasture and native Cerrado. Soil samples were collected in two seasons: dry and wet and in two soil layers: 0-10 and 10-20 cm. Soil biological parameters were evaluated in the following areas under sugar cane: organic, conventional without burn, conventional with burn; these parameters were compared with areas under pasture and native Cerrado. Soil management reduced soil microbial carbon and nitrogen in all studied areas, compared with native Cerrado. There was a trend to reduction on microbial parameters with depth. In general, soil microbial quotient was higher in burned sugar cane area in the two periods studied.

Key words: organic agriculture, soil respiration, soil attributes, microbial biomass, soil bulk.

5.1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, foco de expansão da cultura da cana-de-açúcar, é um ecossistema que ocupa 24% do território brasileiro; contém a segunda maior biodiversidade da América do Sul e as nascentes de cinco grandes bacias hidrográficas (Aquino & Aguiar, 2007). Esse fato mostra a importância da prática de uma agricultura sustentável nos solos desse bioma (Gonçalves, 2006). Segundo Fragoso et al. (1999), os solos do Cerrado brasileiro, são caracterizados por sua baixa fertilidade natural requerendo, portanto, uma série de práticas de manejo para torná-los adequados ao bom desenvolvimento das culturas. Porém, segundo Carneiro et al. (2009), as práticas de manejo adotadas durante o cultivo do solo afetam as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Alvarenga et al. (1999), em estudo comparando solos cultivados em relação a um solo sob Cerrado nativo verificaram que o cultivo do solo provocou alterações no equilíbrio ecológico do solo. Desse modo, para que a produção da cana-de-açúcar na região dos Cerrados seja sustentável é imprescindível que se avaliem os impactos que as práticas agrícolas podem causar à microbiota do solo e assim, e buscar práticas que causam menor degradação e promovem maior sustentabilidade da agricultura.

São várias as práticas de manejo do solo que podem ser adotadas para o cultivo da cana-de-açúcar. Atualmente, a cana-de-açúcar é cultivada em diferentes sistemas de produção, tais como o sistema de plantio direto, o sistema de cultivo orgânico e o tradicional sistema de cultivo convencional, e neste último, durante a colheita da cana, pode haver a queima da palhada antes da colheita, quando esta é manual (Miranda & Avelar, 2008; Galdos et al., 2009; Duarte Júnior & Coelho, 2008). Em um estudo elaborado pela FAEG (2007), foi verificado que em grande parte das áreas cultivada com a cana-de-açúcar, o processo de colheita ainda é manual, baseado na queima da cana antes da colheita, gerando impactos ambientais indesejados. Portanto, o estudo dos diferentes sistemas de cultivo da cana-de-açúcar pode auxiliar na produção sustentável da cultura, indicando práticas mais adequadas, de acordo com as propriedades biológicas do solo. O sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar ainda é recente em nosso país, havendo, portanto poucas informações sobre as alterações que esse sistema de produção pode provocar nos atributos bioquímicos do solo.

Os efeitos das práticas de manejo adotadas durante o cultivo do solo podem ser avaliados através dos atributos do solo. Segundo Dalal (1998) e Werner (1997), os atributos biológicos do solo são importantes ferramentas na avaliação dos sistemas de produção agrícola, pois estes são sensíveis na detecção de alterações devido ao manejo do solo. Sampaio et al. (2008) e Costa et al. (2006) verificaram que os indicadores de natureza

biológica mostraram-se sensíveis às mudanças ocorridas no solo, devido ao manejo. Estudos têm mostrado que a avaliação da biomassa microbiana do solo pode fornecer informações úteis sobre a dinâmica do reservatório lábil da matéria orgânica do solo, levando a uma melhor compreensão do funcionamento do ecossistema, refletindo em longo prazo, na capacidade de produção do solo, (Wardle & Hungia 1994; Gama-Rodrigues 1999). Sampaio et al. (2008), em estudo para verificar o impacto dos sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas sobre indicadores biológicos de qualidade do solo verificaram que, em relação ao solo de Cerrado, houve aumento no carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}). Pereira et al. (2007) verificaram incremento de 157 % no nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}), em um solo há 14 anos sob plantio direto quando comparado ao plantio convencional.

A atividade microbiana do solo sofre alterações com o cultivo do solo. Fialho et al. (2006) e Araújo et al. (2007), verificaram uma maior atividade dos microrganismos em solos sob mata natural quando comparados a solos cultivados. Mas, Carneiro et al. (2009), verificaram que a atividade microbiana de solos cultivados não diferiram de solos sob Cerrado.

O quociente metabólico também tem sido considerado um valioso indicador de estresse e perturbação de ecossistemas, pois ele mostra o estado metabólico dos microrganismos e a quantidade de energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da biomassa (Bezerra et al. 2008; Monteiro & Gama-Rodrigues, 2004). Sampaio et al. (2008), encontraram os menores qCO_2 nos solos sob sistema orgânico e convencional. Pereira et al. (2007) descrevem redução de 37 % no qCO_2 em um Latossolo Vermelho, após 14 anos sob o sistema de plantio direto.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar e do sistema de cultivo convencional, com e sem queima, na atividade biológica do solo e no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, comparando-os com uma área de Cerrado nativo e uma área sob pastagem.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Características do solo e sistemas de manejo em estudo

O estudo foi realizado utilizando-se amostras de Latossolo Vermelho, relevo plano a suave ondulado, fase Cerrado. As amostras de solos foram coletadas em áreas da Empresa Jalles Machado S/A. no município de Goianésia, localizada no centro do estado de Goiás a 15°10' S de latitude e 49°15' W de longitude, com 640 m de altitude. O clima da região é caracterizado, segundo Köppen como tropical de savana, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), apresentando temperatura média anual de 18 a 32 °C e precipitação pluvial média anual em torno de 1500 mm. No (Anexo A), são apresentadas as médias mensais de precipitação e temperatura e no (Anexo G) encontra-se as características físicas e químicas do solo em estudo.

Esta pesquisa trata se de um estudo observacional onde cinco sistemas foram estudados e as variáveis foram observadas em duas épocas: seca e chuvosa e, duas profundidades (0-10 e 10-20 cm).

Na avaliação dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo foram selecionadas cinco áreas (uma para cada sistema de uso do solo). Das cinco áreas, três são cultivadas com cana-de-açúcar, sendo elas semelhantes quanto ao número de cortes (3º corte). Duas áreas serviram de referência: uma sob Cerrado nativo e a outra cultivada com pastagem. No (Anexo B) encontra-se as principais características dos solos em estudo.

Os sistemas de uso do solo avaliados foram: sistema de cultivo orgânico (CO), sistema de cultivo convencional sem a queima da cana antes da colheita (CC) e sistema de cultivo convencional com a queima da cana antes da colheita (CQ) e duas áreas que serviram como referências: Cerrado nativo (CE) e pastagem (PT) (Anexo D). A escolha desses sistemas de produção foi feita com base nos sistemas de cultivo da cana-de-açúcar praticados no Brasil. Os dados obtidos foram comparados com área cultivada com pastagem, porque a expansão da cana-de-açúcar está ocorrendo em áreas que antes era cultivada com pastagem. A área de Cerrado representa um sistema em equilíbrio que foi utilizado como referencial para a avaliação das alterações nos atributos biológicos, físicos e químicos do solo devido ao cultivo do solo com a cana-de-açúcar.

5.2.2. Preparo do solo, adubação e colheita

O preparo do solo nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar constitui basicamente das seguintes operações: grade pesada por duas ou três vezes para eliminação da soqueira anterior; grade intermediária para destorroar o solo; subsolagem seguida de grade leve para nivelamento do solo. O preparo do solo se dá apenas na época da reforma dos canaviais, ou seja, após o quinto ou sexto corte (colheita).

Na área cultivada com cana orgânica a adubação fosfatada e potássica, são feitas utilizando-se torta de filtro, a qual é distribuída na área. Na área de cana crua, os fertilizantes de cobertura são distribuídos sobre a palhada, na linha de cultivo, e na área cultivada com a cana queimada os fertilizantes foram distribuídos sobre o solo, na linha de cultivo da cana, nos (Anexos H, I e J) encontra-se a relação dos adubos e corretivos utilizados nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar.

A colheita da cana orgânica e crua é feita utilizando-se máquina que corta a cana, pica e distribui sobre o transbordo, que trafega paralelamente a esta. Durante a colheita a máquina lança os resíduos leves sobre o solo. A colheita da cana queimada é manual. Antes da colheita queima-se a palhada para facilitar o corte para os trabalhadores. Nesse tratamento a cana é cortada manualmente e, usando-se trator equipado com grua, a cana é colocada no transbordo o qual é tracionado por um trator.

5.2.3. Amostragem do solo

As amostragens de solo foram feitas em duas épocas do ano. A primeira coleta foi feita na época seca, entre os dias 30 de julho a 6 de agosto de 2008, uma semana após a terceira colheita (corte) da cana. A segunda coleta foi realizada na estação chuvosa, entre os dias 1º de março e 2 de abril de 2009, e os canaviais estavam na fase de amadurecimento.

5.2.3.1. Procedimentos da amostragem do solo

Após a escolha das áreas a serem avaliadas, pegou-se o croqui dessas áreas, as quais estavam divididas em quadrados de 100 x 100 m (um hectare), todos georeferenciados. Cada área continha número de quadrados equivalentes à sua área, por exemplo, a área de cana crua possui 123 hectares, portanto foram 123 quadrados (Anexo E), esses foram numerados de 1 a 123, posteriormente, sorteou-se cinco destes pontos. Na área de cana crua, os pontos

sorteados foram: 84, 85, 92, 95 e 104. Para cada área estudada, cada ponto representou as repetições, totalizando cinco repetições.

Após o sorteio dos pontos, com o auxílio de um GPS chegou se até o local. Em cada um destes cinco pontos demarcou-se o local onde foram abertas duas trincheiras, as quais ficaram distanciadas 50 m uma da outra. Em volta de cada trincheira, num raio de 10 m de distância, foram coletadas 5 amostras deformadas simples, obtendo se ao total 10 amostras simples para formar uma amostra composta, por camada de solo. Para as avaliações biológicas foram feitas coletas nas camadas 0-10 e 10 -20 cm de profundidade e a 30 cm da linha de cultivo da cana-de-açúcar. Antes da coleta das amostras de solo, foram removidos os resíduos vegetais presentes na superfície do solo. Estas amostras foram coletadas com um trado comum e colocadas em um recipiente plástico (balde de 20 litros) para homogeneizar. Depois de homogeneizadas foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e colocadas em caixa de isopor contendo gelo, para que mantivessem resfriadas até chegarem ao Laboratório de Biologia do Solo da Universidade de Brasília, onde foram armazenadas em câmara fria a 4 °C até o momento das análises. Esse procedimento foi realizado nas três áreas cultivadas com cana. Nas áreas de Cerrado e pastagem, como não havia o croqui com pontos georeferenciados, como nas áreas cultivadas com cana, a obtenção dos pontos (repetições) foi feita através de caminhar na área, de modo que, os pontos ficaram distanciados entre si, em aproximadamente 100 metros, isso porque as áreas eram menores.

5.2.4. Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Biologia do Solo da Universidade de Brasília (UnB), onde as amostras de solo foram novamente homogeneizadas, retirando-se restos de raízes ou resíduos vegetais e peneirados (4 mm de abertura). Posteriormente, procedeu-se a pesagem do solo, e correção da umidade, para a avaliação dos atributos biológicos.

5.2.4.1. Respiração basal

A respiração basal (Rb) foi calculada pela quantidade de C-CO₂ liberado em amostras de solo. Pesaram-se 20 g de solo e foram colocados em frascos de 500 ml. A correção da umidade foi feita para 80% da capacidade de campo. Colocou se dentro do frasco de 500 ml outro frasco menor, contendo 10 ml de hidróxido de potássio (KOH) 0,3 M. Os frascos de 500

ml foram fechados com filme plástico e tampa, os quais ficaram assim incubados por sete dias. Também foram incubados três frascos sem solo (branco). Após esse período, acrescentaram-se 3 ml de BaCl₂ 20% aos frascos que continham o KOH 0,3 M e as soluções foram transferidas imediatamente para erlenmeyers 100 ml, as quais adicionaram se quatro gotas de fenolftaleína e foi feita a titulação com HCl 0,1N.

5.2.4.2. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo

O carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}) foi avaliado pelo método da fumigação-extração (Vance et al.,1987). As determinações de C e N da biomassa microbiana do solo foram realizadas com base em três repetições analíticas (três fumigadas e três não fumigadas) por amostra de solo coletada no campo. Para cada amostra pesaram-se 20 g de solo (três fumigadas e três não fumigadas). Foi feita a correção da umidade para 80 % da capacidade de campo com água destilada e o solo foi colocado em frascos de vidro, os quais foram fechados com filme plástico e tampa e ficaram incubados por sete dias.

No sexto dia de incubação parte das amostras de solo foi fumigada e parte não foi. As amostras fumigadas foram distribuídas em um dessecador que continha uma placa de petri com 25 ml de clorofórmio, isento de etanol, para provocar a morte dos microorganismos e liberação dos componentes celulares. As amostras ficaram 24 horas no escuro, depois retirou todo o vapor de clorofórmio. Finalmente, as amostras de solo foram transferidas para um frasco de boca larga.

Após os sete dias de incubação para extrair o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana, em todas as amostras de solo, fumigadas e não fumigadas, adicionaram-se 70 ml de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ com pH ajustado na faixa de 6,5 a 6,8, procedendo-se a extração em agitador com movimento circular horizontal a 45 rpm por 45 minutos. Após a agitação, as amostras ficaram em repouso por 30 minutos para a decantação do solo e, posteriormente o sobrenadante foi filtrado em papel de filtro. Os extratos foram congelados, para análise e foram congelados também triplicatas da solução de K₂SO₄ para o branco (sem solo).

Para a digestão do carbono, pipetaram-se 8 ml de cada extrato e dos brancos. As amostras foram colocadas em tubos de ensaio, adicionaram-se 2 ml de solução de dicromato de potássio 0,066 M, e 15 ml da solução 2:1 de H₂SO₄:H₃PO₄ concentrados. Posteriormente, os tubos de ensaio foram colocados em bloco digestor a 100 °C por trinta minutos. Depois que as amostras esfriaram transferiu-se o conteúdo de cada tubo de ensaio para uma proveta de vidro com capacidade para 50 ml, completou-se o volume com água destilada e transferiu-se

todo o conteúdo para erlenmeyers de 125 ml. Adicionaram-se 4 gotas de indicador ferroína e procedeu-se a titulação com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal.

O carbono da biomassa microbiana do solo foi determinado pela diferença entre o carbono extraído das amostras fumigadas e o das amostras não fumigadas. Calculou-se pela diferença com o branco, assumindo se que 1 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,4 N, equivale a 1200 μg carbono. Os cálculos foram os seguintes:

$$CMB = (C_F - C_{NF}) / K_{ec}.$$

Onde: C_F e C_{NF} representam o C total do CO_2 liberado das subamostras fumigadas e não fumigadas respectivamente.

K_{ec} : (0,38) é uma constante, que representa a fração do carbono da biomassa microbiana extraída após a fumigação (Wardle, 1994).

Para a determinação do nitrogênio da biomassa microbiana usou-se o método de Brookes et al. (1985). Para a digestão do nitrogênio colocou-se em tubos de ensaio 1 g do catalisador ($K_2SO_4 + CuSO_4 +$ Selênio, 1:0,1:0,01), depois pipetaram-se 20 ml de cada extrato e também do branco, foram adicionados 3 ml de H_2SO_4 concentrado. Os tubos de ensaio ficaram no bloco digestor a 80 °C por uma noite; no outro dia elevou-se a temperatura para 150 °C e deixou-se por uma hora e meia, elevou-se novamente a temperatura para 300 °C e deixou-se por mais três horas. Após o resfriamento dos tubos foi feita a destilação, utilizando-se 20 ml de NaOH 40 % e 10 ml de ácido bórico 2 %. O destilado foi titulado com ácido sulfúrico 0,0025 N até atingir coloração alaranjada.

O nitrogênio da biomassa microbiana foi calculado pela seguinte fórmula:

$$NBM \text{ (mg kg}^{-1} \text{ solo)} = (N_F - N_{NF}) / K_n.$$

Onde: N_F e N_{NF} representam o N total liberado das subamostras fumigadas e não fumigadas respectivamente.

K_n : (0,54) é uma constante, expressa que 54% da fração do nitrogênio da biomassa microbiana foi recuperada pelo extrator após o processo de fumigação extração (Jenkinson, 1988).

5.2.4.3. Quociente metabólico

O quociente metabólico (qCO_2), expresso em microgramas de C-CO₂ por micrograma de Cmic por dia, foi calculado pela razão entre a respiração basal e o Cmic conforme descrito por (Anderson & Domsch, 1993).

5.2.5. Análises químicas

O carbono orgânico (matéria orgânica) foi calculado pelo método da oxidação via úmida, (Walkley-Black, 1934). Pesou-se 0,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA), passada em peneira 0,50 mm; a amostra foi transferida para erlenmeyers de 500 ml, onde foram adicionados 10 ml da solução de dicromato de potássio 1 N e agitou-se. Em seguida, adicionaram-se 20 ml de ácido sulfúrico e a amostra foi deixada em repouso por trinta minutos. Após o repouso, adicionaram-se 200 ml de água destilada, 10 ml de ácido fosfórico e 1 ml do indicador ferroína. Fez-se o mesmo procedimento com o branco (sem solo). Posteriormente, procedeu-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,5 N, até a viragem para a cor verde.

Calculou-se o teor de matéria orgânica da seguinte forma:

$$M.O_{total} (\%) = 10 \times (1-A/B) \times 1,34.$$

Onde: A = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra e B = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco.

O teor de C orgânico foi obtido pegando-se o percentual total de matéria orgânica ($M.O_{total} \%$), convertendo-o em $g\ kg^{-1}$. Pegou-se o teor de MO em $g\ kg^{-1}$ e dividiu-o pelo fator 1,724. Esse fator é admitido em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%.

O nitrogênio total foi determinado de acordo com (Bremner & Mulvaney, 1982). Pesaram-se 0,2 g de terra fina seca ao ar (TFSA), transferiu-se para tubos de ensaio, adicionaram-se 0,8 g da mistura catalítica ($10\ K_2SO_4 + 1\ CuSO_4 \cdot 5H_2O$), mais 3 ml de H_2SO_4 concentrado. Os tubos foram agitados e levados ao bloco digestor a 335 °C, por 45 minutos. Esperou-se que os tubos de ensaio resfriassem e adicionou-se 1 ml de água oxigenada para clarear a solução. Posteriormente, acrescentaram-se em cada tubo de ensaio 10 ml de água destilada. Essa mistura digerida foi então destilada em erlenmeyer contendo 10 ml de ácido bórico a 2 %. O destilado foi titulado com ácido sulfúrico 0,003 N. O nitrogênio total foi calculado por meio de uma equação de regressão linear.

5.2.6. Análise estatística

O modelo utilizado na análise dos dados foi o seguinte:

$$y_{ijkl} = \mu + S_i + R_j(S_i) + E_k + (SE)_{ik} + R_j E_k(S_i) + P_l + (SP)_{il} + (EP)_{kl} + (SEP)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

S_i é o efeito do sistema i

$R_j(S_i)$ é o efeito amostra j dentro do sistema i

E_k é o efeito da época k

$(SE)_{ik}$ é o efeito da interação sistema x época

$R_j E_k(S_i)$ é o efeito da interação repetição x época dentro de sistema

P_l é o efeito da profundidade l

$(SP)_{il}$ é o efeito da interação sistema x profundidade

$(EP)_{kl}$ é o efeito da interação época x profundidade

$(SEP)_{ikl}$ é o efeito da interação sistema x época x profundidade

ε_{ijkl} é o erro.

É um modelo misto onde S_i , E_k , $(SE)_{ik}$, P_l , $(SP)_{il}$, $(EP)_{kl}$ e $(SEP)_{ikl}$ são efeitos fixos; $R_j(S_i)$ e $R_j E_k(S_i)$ são efeitos aleatórios; ε_{ijkl} é um erro aleatório.

O método de análise foi o de máxima verossimilhança restrita, descrito por (Searle et al. 1992). Por não ser um experimento e sim um estudo observacional, não se conhece a estrutura de variâncias e covariâncias dos dados e por isso foi conduzido um estudo estatístico para se indicar a melhor estrutura. Também foram conduzidos dois outros estudos: Um para verificar aproximação normal dos dados e o segundo para a detecção de medidas discrepantes. As técnicas para os três estudos estão descritas em (Littel et al. 2006). A parte computacional de análise estatística foi feita com o (SAS, 2003).

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS})

Nas duas épocas de amostragens, o sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar apresentou maior C_{BMS} em relação ao sistema de cultivo convencional, com e sem a queima (Tabela 2.1). O sistema de cultivo orgânico, quando comparado ao sistema de cultivo convencional promoveu aumentos significativos nos valores do C_{BMS} . Na camada de 0-10 cm, o aumento foi de 115 % em relação à cana crua e 157 % em relação à cana queimada. Na camada 10-20 cm, os aumentos foram de 119 % em relação à cana crua e 66 % em relação à cana queimada. Sampaio et al. (2008), em estudo para verificar o impacto dos sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas sobre indicadores biológicos de qualidade do solo em um Neossolo Quartzarênico verificaram que, em relação ao solo de Cerrado, houve aumento no C_{BMS} , nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Nesse estudo, o sistema de cultivo orgânico proporcionou aumento no C_{BMS} e, conseqüentemente, melhoria das condições para a biota do solo em relação ao sistema de cultivo convencional.

Tabela 2.1. Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C. Kg^{-1} de solo) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano: seca e chuvosa e duas profundidades: 0-10 e 10-20 cm.

Sistemas	Épocas		Camadas (cm)	
	Seca	Chuvosa	0-10	10-20
Cerrado	307,9 a A ⁽¹⁾	498,2 a B	492,3 aA	313,9 aB
Pastagem	153,2 b A	363,2 b B	241,5 bB	274,9 bA
Cana crua	87,7 c A	77,2 d A	97,2 dA	61,6 dB
Cana queimada	81,1 c A	98,1 d A	98,02 dA	81,3 dA
Cana orgânica	153,6 b B	189,6 c A	208,6 cA	134,6 cB

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade. As letras minúsculas comparam os sistemas na coluna, na mesma época ou na mesma camada. As letras maiúsculas comparam os sistemas na mesma linha, considerando a mesma variável (Época ou Camada).

Em relação ao solo sob Cerrado nativo, as reduções no C_{BMS} , na camada 0-10 cm, foram de 57,6 % no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar e, cerca de 80 % no sistema de cultivo convencional. Na camada 10-20 cm, as reduções foram de 57 % no sistema de cultivo orgânico e, no sistema de cultivo convencional foi de 74,6 % na cana queimada e 80,4% na cana crua. Apesar do C_{BMS} na área cultivada com cana-de-açúcar no sistema de cultivo orgânico apresentar valores inferiores em relação ao solo de Cerrado nativo, foi o sistema de cultivo da cana que apresentou as menores reduções. Fialho et al. (2006) relatam que há alguns fatores responsáveis pelas condições mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano,

nas áreas sob vegetação natural, entre eles merecem destaque a ausência de preparo do solo, por resultar em maior teor de raízes, as quais aumentam a entrada de carbono no sistema; a maior diversidade florística, as quais favorecem as populações de fungos; quantidade e qualidade dos resíduos vegetais retornados ao solo, e aos níveis mais adequados de umidade e temperatura.

Não houve diferença significativa no valor do C_{BMS} , no sistema de cultivo convencional, com e sem a queima da palhada, nas duas camadas (0-10 e 10-20 cm), contrariando os dados de Galdos et al. (2009) que, em estudo com o objetivo de comparar a dinâmica do carbono do solo em duas situações: quando a palhada da cana é mantida na superfície do solo, e quando a palhada é eliminada por ocasião da queima pré-colheita verificaram que o teor do C_{BMS} na área de cana crua foi 2,5 vezes maior do que na área de cana queimada, na camada superficial do solo (0-10 cm); na camada de 10-20 cm o C_{BMS} foi 1,5 vezes maior na área de cana crua do que na área sob cana queimada.

Neste estudo, nota-se uma tendência nítida de redução nos teores do C_{BMS} da camada mais superficial do solo (0-10 cm) para a camada mais profunda (10-20 cm). Estes resultados estão de acordo com Galdos et al. (2009) que também encontraram os maiores valores na camada superficial do solo. Alvarenga et al. (1999), estudando solos de Cerrado sob diferentes usos, concluíram que as alterações no teor de C_{BMS} são mais evidentes na camada mais superficial do solo. Fialho et al. (2006) verificaram que o C_{BMS} foi reduzido com o aumento da profundidade e os maiores valores foram obtidos na profundidade de 0-5 cm. Os autores atribuíram os maiores valores de C_{BMS} nas camadas mais superficiais do solo, ao acúmulo de resíduos vegetais e matéria orgânica na superfície dos solos e também à maior aeração no solo, o que favorece o desenvolvimento microbiano.

O C_{BMS} na área sob pastagem foi superior ao encontrado nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar, com exceção da época seca, onde o solo sob pastagem foi semelhante ao solo sob cultivo orgânico da cana-de-açúcar. Outros estudos também evidenciaram altos teores de C_{BMS} em áreas sob pastagem; Araújo et al. (2007) constataram que o C_{BMS} nas áreas de pastagem foram semelhantes à de um solo de Cerrado nativo. Os autores atribuíram os resultados obtidos ao intenso desenvolvimento do sistema radicular das gramíneas forrageiras, favorecendo a atividade biológica do solo. Carneiro et al. (2008) também concordam que esse aumento se deve ao sistema radicular das gramíneas, que promovem maior entrada de carbono no solo. Cardoso et al. (2009) também observaram altos teores de C_{BMS} em uma pastagem cultivada há 27 anos, sendo os valores semelhantes aos valores solo de Cerrado nativo.

Em relação a esse atributo bioquímico do solo (C_{BMS}), pode-se concluir que o sistema de cultivo orgânico é um sistema conservacionista e tem potencial para restaurar a qualidade do solo. Costa et al. (2006), em estudo com o objetivo de avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto verificaram tendência de valores maiores de C_{BMS} em solo sob SPD, sugerindo que esse sistema favorece a biota do solo. Pereira et al. (2007), verificaram incremento de 114 % no carbono da biomassa microbiana em um solo há 14 anos sob plantio direto, quando comparado ao plantio convencional. Cardoso et al., (2009) comenta que, dependendo do tipo de manejo adotado no cultivo do solo, grande parte da matéria orgânica permanece no solo sob forma estável, por um longo tempo diminuindo a emissão de CO_2 .

5.3.2. Respiração basal (Rb) ou atividade microbiana

A maior atividade microbiana nos solos cultivados com cana-de-açúcar foi observada na área sob cana queimada e cana orgânica, na época seca. Na avaliação do solo coletado na época chuvosa, a área sob cana queimada foi a que apresentou a maior atividade microbiana (Tabela 2.2). Fialho et al. (2006) discutem que quanto maior a massa de microrganismos maior será a sua atividade, contrariando os dados deste trabalho, ao verificar que a área sob cana queimada apresentou atividade microbiana maior ou semelhante à área sob cana orgânica, na qual os teores de C_{BMS} foram muito mais elevados do que na área sob cana queimada. Essa divergência também pode ser verificada ao analisar os dados coletados nas diferentes épocas, onde os maiores valores do C_{BMS} foram verificados na época chuvosa (Tabela 2.1), enquanto os maiores valores da Rb foram observados na época seca.

Tabela 2.2. Respiração basal do solo ($mg\ C-CO_2\ Kg^{-1}\ solo\ dia^{-1}$) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em épocas: seca e chuvosa e duas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.

Sistemas	Épocas		Camadas (cm)	
	Seca	Chuvosa	0-10	10-20
Cerrado	18,24 a A ⁽¹⁾	8,68 a B	14,95 a A	11,64 a A
Pastagem	10,94 b A	5,13 a B	10,69 b A	5,38 bc B
Cana crua	5,17 c A	3,52 b A	5,48 c A	3,22 c A
Cana queimada	10,81 b A	6,78 a B	10,16 b A	7,37 b A
Cana orgânica	10,27 b A	4,78 b B	9,04 bc A	6,01 bc A

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade. As letras minúsculas comparam os sistemas na coluna, na mesma época ou na mesma camada. As letras maiúsculas comparam os sistemas na mesma linha, considerando a mesma variável (Época ou Camada).

O manejo do solo provoca alterações na qualidade e quantidade de microrganismos do solo em relação a um solo sob Cerrado nativo. Na camada 0-10 cm houve redução da respiração basal em 63,3% na área sob cana crua, 39,5% na área sob cana orgânica e 32% na área sob cana queimada, em relação ao solo sob Cerrado. Na camada 10-20 cm, as reduções foram de 72,3% na cana crua, 48,4% na cana orgânica e 36,7% na cana queimada. Estudos mostram que essas alterações podem ser devido ao revolvimento do solo, uso de agrotóxicos, fertilizantes, além do tipo e variedade de planta que se cultiva (Oliveira et al., 2009; Monteiro & Gama-Rodrigues, 2004). Andréa & Pettinelli Jr (2000) e Arantes et al. (2007), concluíram que há efeito da aplicação de pesticidas sobre a respiração e biomassa microbiana. Oliveira, et al. (2009), verificaram que houve efeito negativo da aplicação de inseticida e herbicida sobre a atividade microbiana do solo. Bezerra et al., (2008), verificaram que as variedades de cana-de-açúcar não exerceram influência estatística sobre a respiração microbiana, carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico. Fialho et al. (2006); Araújo et al. (2007), também encontraram maior valor de Rb em solos de mata natural do que em solos cultivados.

Em relação ao solo de Cerrado, o solo da área sob cana queimada foi o que apresentou as menores reduções na atividade microbiana do solo. Porém, não se pode concluir que o sistema de cultivo convencional com queima da palhada é mais eficiente do que os demais. O fato de o sistema cana queimada apresentar valores de Rb semelhante ao sistema Cerrado, não significa que eles têm a mesma eficiência, pois, em sistemas perturbados, a microbiota apresenta alto metabolismo, consumindo muito C e perdendo-o na forma de CO₂ através de sua respiração; deste modo pouco C é incorporado no tecido celular. Assim, os altos valores de Rb no sistema cana queimada indicam uma provável condição de estresse para a população microbiana, decorrente do manejo desse sistema e, tal como, o uso do fogo durante o processo de colheita da cana. Araújo et al. (2007), discutem que alta atividade microbiana não é necessariamente indicativo de melhoria da qualidade do solo, podendo inclusive, ser considerado um fator negativo, em virtude de acelerar a decomposição dos resíduos orgânicos e, portanto, diminuir o tempo de residência da matéria orgânica no solo.

Mas, uma alta atividade microbiana também pode ser considerada uma característica desejável, uma vez que pode significar rápida transformação dos resíduos vegetais em nutrientes para as plantas, mas também pode significar maior emissão de CO₂ para a atmosfera, pois o C orgânico que estava presente no solo foi transformado pela microbiota através da respiração e segundo Sampaio et al. (2008), menores valores da respiração basal sugere uma maior estabilidade do sistema.

5.3.3 Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

Houve efeito das épocas de amostragem no $q\text{CO}_2$, com diferença significativa em todos os sistemas estudados, com exceção do sistema cana crua (Figura 2.1). De modo geral, os maiores valores do quociente metabólico foram observados na estação seca; mostrando que nesta época, a microbiota do solo estava sob estresse em todos os sistemas de uso do solo estudados, com exceção da cana crua, que apresentou $q\text{CO}_2$ semelhante nas duas épocas. Os resultados estão de acordo com os de Pimentel et al. (2006), que observaram as maiores taxas de $q\text{CO}_2$ nos meses mais quentes do ano, verão e primavera.

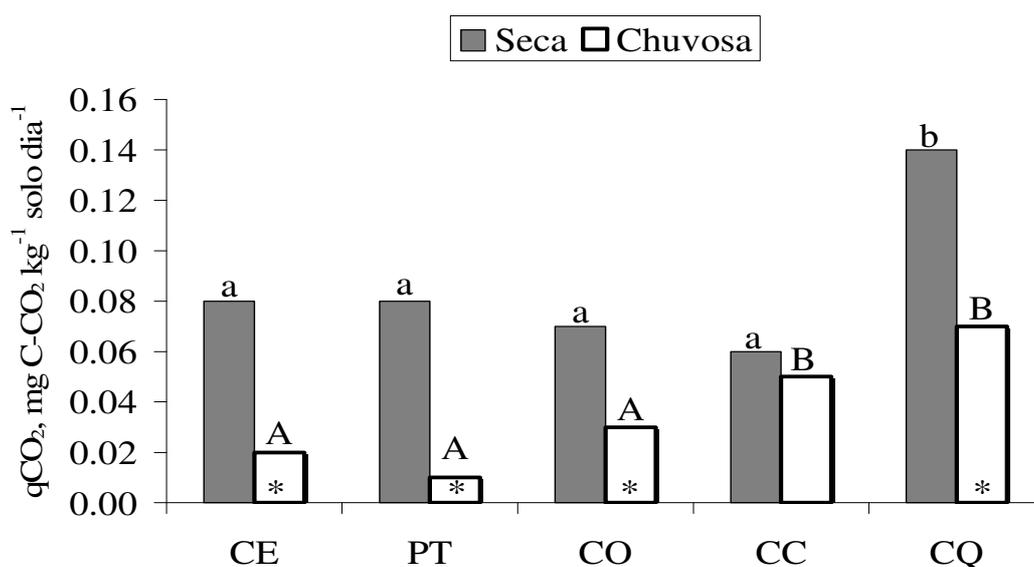


Figura 2.1. Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), ($\text{mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C-BM dia}^{-1}$) em solos cultivados com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano (seca e chuvosa). CE: Cerrado; PT: pastagem; CO: cana orgânica; CC: cana crua; CQ: cana queimada. Letras minúsculas comparam sistemas de uso do solo na estação seca. Letras maiúsculas comparam sistemas de uso do solo na estação chuvosa. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste t, a 5 %. (*) Indica que houve diferença significativa entre as épocas de amostragem (seca e chuvosa).

Na estação seca, o sistema cana queimada foi o único que se comportou de forma diferente da área de Cerrado. Infere-se que esse sistema está longe do seu estado de equilíbrio e que a biomassa microbiana está sob estresse, perdendo maiores quantidades CO_2 pela respiração e incorporando menos C ao seu tecido celular. Conforme relatado por Fialho et al. (2006), o quociente metabólico prediz que a biomassa microbiana torna-se mais eficiente, a partir do momento em que menos carbono é perdido na forma de CO_2 pela respiração, possibilitando, uma maior incorporação de carbono aos tecidos microbianos. Sampaio et al. (2008), encontraram os menores $q\text{CO}_2$ nos solos sob sistema orgânico e convencional. Pereira et al. (2007) descrevem redução de 37 % no $q\text{CO}_2$ em um Latossolo Vermelho após 14 anos

sob o sistema de plantio direto. Monteiro & Gama-Rodrigues (2004) concluíram que esse atributo foi um indicador de condições de estresse para a biomassa microbiana e que o quociente metabólico e a atividade microbiana não diferiram entre o Cerrado nativo e solos sob diferentes manejos.

Na estação seca, o sistema de cultivo convencional com a queima da palhada provocou um aumento de 75% no qCO_2 em relação ao solo de Cerrado nativo. Os demais sistemas de uso do solo não diferiram da área de Cerrado. Fialho et al. (2006), observaram que o quociente metabólico não diferiu em solos cultivados quando comparado com a mata natural. Ao contrário, Carneiro et al. (2009), encontraram maior quociente metabólico em áreas sob pastagem nativa e menor nas áreas sob cultivo.

Na estação chuvosa, os maiores valores do qCO_2 foram observados nas áreas sob cultivo convencional, com e sem a queima da palhada. O sistema de cultivo orgânico foi semelhante à área de Cerrado e pastagem. Nesta estação, apesar dos valores do qCO_2 serem estatisticamente inferiores aos valores observados na estação seca, o percentual de aumento foi superior àqueles observados na estação seca. O aumento foi de 150 % na cana crua e 250 % na cana queimada, em relação ao Cerrado.

5.3.4 Quociente microbiano (qMIC)

Não houve diferença entre os sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar na relação $C_{mic}:C_{org}$, nas duas épocas amostradas (Tabela 2.3). Isso se deve à alta relação C/N dos restos vegetais coletados nas áreas sob cana (Anexo 2). Porém, os valores obtidos nas áreas cultivadas com a cana foram inferiores aos valores obtidos no solo sob Cerrado, onde a relação C/N é menor do que nos demais sistemas (Anexo 2).

Tabela 2.3. $C_{mic}:C_{org}$ (%) em solo cultivado com a cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano (seca e chuvosa) e duas profundidades (0-10 e 10-20 cm).

Sistemas	Épocas		Camadas (cm)	
	Seca	Chuvosa	0-10	10-20
Cerrado	1,13 aB ⁽¹⁾	1,89 aA	1,54 aA	1,52 aA
Pastagem	0,81 bB	1,98 aA	1,33 aA	1,45 aA
Cana crua	0,75 bcA	0,74 bA	0,88 bA	0,61 bB
Cana queimada	0,58 cA	0,73 bA	0,72 bA	0,59 bA
Cana orgânica	0,72 bcA	0,83 bA	0,91 bA	0,64 bB

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade. As letras minúsculas comparam os sistemas na coluna, na mesma época ou na mesma camada. As letras maiúsculas comparam os sistemas na mesma linha, considerando a mesma variável (Época ou Camada).

As reduções na camada 0-10 cm foram de 41 % na cana orgânica, 43 % na cana crua e 53 % na cana queimada, em relação ao solo de Cerrado. Na camada 10-20 cm, as reduções foram de 58 % na cana orgânica, 60 % na cana crua e 64 % na cana queimada. Cardoso et al., (2009) atribuem as reduções na relação $C_{mic}:C_{org}$ à baixa qualidade nutricional da matéria orgânica, que provoca estresse na microbiota do solo, tornando-a incapaz de utilizar totalmente o C orgânico. Monteiro & Gama-Rodrigues (2004) relatam que a eficiência da biomassa microbiana na imobilização de C e N está diretamente relacionada com a qualidade da matéria orgânica, e que quanto menor o valor da relação $C_{mic}:C_{org}$ menor é a qualidade da matéria orgânica. Porém, não se pode inferir que a qualidade da matéria orgânica nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar são inferiores em relação ao Cerrado, podendo inclusive, ser considerado um fator positivo, visto que materiais com relação C/N mais elevada são mais resistentes ao processo de decomposição. Araújo et al., (2007) discutem que, ao acelerar a decomposição dos resíduos orgânicos diminui-se o tempo de residência da matéria orgânica no solo, remetendo em perda de C no sistema e maior emissão de CO₂ para a atmosfera.

A relação $C_{mic}:C_{org}$ diferiu entre as camadas estudadas, apenas nas áreas sob cana orgânica e cana crua, nas quais os maiores valores foram observados na camada superficial do solo (0-10 cm). Sampaio et al. (2008), em estudo para verificar o impacto dos sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas sobre indicadores biológicos de qualidade do solo em um Neossolo Quartzarênico, encontraram o menor valor da relação $C_{mic}:C_{org}$, na profundidade de 0-10 cm, em solos sob vegetação nativa quando comparados com solos sob sistema de cultivo orgânico.

De acordo com o Anexo B, observa-se que, na época chuvosa a relação C/N dos restos vegetais coletados na área sob pastagem foi 60:1 e os coletados na área de Cerrado nativo foi de 24:1, porém, a relação $C_{mic}:C_{org}$ na área de pastagem foi elevada tanto quanto na área de Cerrado, nas quais não houve diferença estatística. Diferentemente do que foi observado neste trabalho, Alvarenga et al. (1999) observaram diferença entre áreas de pastagem nativa e pastagem cultivada em relação ao Cerrado e os maiores valores foram encontrados no Cerrado. Carneiro et al. (2009) observaram redução na relação $C_{mic}:C_{org}$ em solos cultivados com pastagem, em relação ao Cerrado. Mas, observa-se também que, neste trabalho os valores da relação $C_{mic}:C_{org}$ foram menores que 2 % em todos os sistemas de uso do solo, diferindo dos dados obtidos por Alvarenga et al. (1999) que encontraram sob diferentes usos, valores da relação $C_{mic}:C_{org}$ que variaram de 3,08 % no Cerrado até 1,34 % na pastagem natural.

5.3.5 Nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS})

No sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar o N_{BMS} foi maior do que no sistema de cultivo convencional nas duas épocas amostradas (Tabela 2.4). Na camada de 0-10 cm, o sistema de cultivo orgânico apresentou 143 % a mais que na área cultivada com cana crua e, 203 % a mais em relação à área sob cana queimada. Já na camada 10-20 cm houve um aumento de 152,6 % e 114,2 % no N_{BMS} na área cultivada com cana orgânica, em relação às áreas sob cana crua e cana queimada respectivamente. Pereira et al. (2007) verificaram incremento de 157 % no N_{BMS} , em um solo há 14 anos sob plantio direto quando comparado ao plantio convencional.

Tabela 2.4. Nitrogênio da biomassa microbiana (mg N. Kg^{-1} de solo) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solos sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano: seca e chuvosa e duas profundidades: 0-10 e 10 a 20 cm.

Sistemas	Épocas		Camadas (cm)	
	Seca	Chuvosa	0-10	10-20
Cerrado	55,60 aB ⁽¹⁾	63,44 aA	67,72 aA	51,32 aB
Pastagem	,18 bA	33,17 cA	30,97 cA	32,39 bB
Cana crua	15,76 cA	14,95 dA	18,08 dA	12,62 cB
Cana queimada	14,84 cA	14,57 dA	14,53 dA	14,88 cA
Cana orgânica	34,57 bB	41,29 bA	43,98 bA	31,88 bB

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade. As letras minúsculas comparam os sistemas na coluna, na mesma época ou na mesma camada. As letras maiúsculas comparam os sistemas na mesma linha, considerando a mesma variável (Época ou Camada).

O maior valor de N_{BMS} na área de cultivo orgânico, em relação às áreas sob cultivo convencional, se deve provavelmente, às fontes diferenciadas de nitrogênio que são usadas nestes dois sistemas de cultivo. Coser et al. (2007), avaliando diferentes doses de nitrogênio na forma de sulfato de amônio (uma fonte altamente solúvel), observaram que a aplicação de doses elevadas de N, proporcionou a mesma imobilização de nitrogênio na biomassa microbiana que o tratamento sem aplicação de nitrogênio.

Em todos os sistemas estudados, com exceção da cana queimada, os maiores valores do N_{BMS} foram observados na camada mais superficial do solo (0-10 cm) (Tabela 2.5). Estes dados estão de acordo com os obtidos por Coser et al. (2007) e Perez et al. (2004) que verificaram que o N_{BMS} tende a diminuir com o aumento da profundidade.

Em relação ao solo do Cerrado nativo, observa-se que este possui valores mais elevados de N_{BMS} do que os solos cultivados com a cana-de-açúcar. Na camada 0-10 cm, houve redução de 35 % na cana orgânica, 73 % na cana crua e 78 % na cana queimada, em relação

ao solo do Cerrado. Na camada 10-20 cm, as reduções foram de 37,8% na área sob cultivo orgânico; 71% na área de cana queimada e 75,4% na área de cana crua.

Em usinas de cana-de-açúcar, normalmente os canaviais são implantados em áreas que antes eram ocupadas por pastagens degradadas. Neste estudo, foi observado que a substituição da pastagem por cana-de-açúcar, no sistema de cultivo orgânico não provocou redução no N_{BMS} em relação à pastagem, porém, no sistema de cultivo convencional, houve reduções de 61 e 54 % na camada 10-20 cm, nas áreas de cana crua e cana queimada, respectivamente. Na camada 0-10 cm, o sistema de cultivo orgânico foi superior à pastagem em 42 %; já o sistema de cultivo convencional foi inferior em 41,6 e 53,1 %, na área de cana crua e queimada, respectivamente.

5.3.6. Relação $N_{BMS}:N_{total}$

O sistema de cultivo orgânico foi superior ao sistema de cultivo convencional na época chuvosa; já nas amostras coletadas na época seca, o sistema de cultivo orgânico foi superior apenas ao sistema de cultivo convencional com queima da palhada, e foi semelhante na área de cana crua (Tabela 2.5). Observou-se um aumento de 73,5 % na relação $N_{BMS}:N_{total}$ na área de cana orgânica em relação à área sob cana queimada e 19,4% em relação à cana crua, na camada 0-10 cm. Na camada 10-20 cm, a área orgânica foi cerca de 40 % superior às áreas sob cultivo convencional.

Os solos sob cultivo orgânico foram mais eficientes na imobilização do nitrogênio na biomassa microbiana, do que as áreas sob cultivo convencional e este sistema pode contribuir para a redução das perdas de nitrogênio no solo, visto que o nitrogênio imobilizado não será lixiviado ou perdido na forma gasosa.

Tabela 2.5. $N_{BMS}:N_{total}$ (%) em solo cultivado com cana-de-açúcar e solo sob Cerrado e pastagem em duas épocas do ano: seca e chuvosa e duas profundidades: 0-10 c e 10-20 cm.

Sistemas	Épocas		Camadas (cm)	
	Seca	Chuvosa	0-10	10-20
Cerrado	2,97 aB ⁽¹⁾	3,38 aA	2,85 aB	3,50 aA
Pastagem	2,29 bB	2,56 bA	2,35 bA	2,50 bA
Cana crua	1,94 bcA	1,81 cA	2,21 bA	1,55 cB
Cana queimada	1,73 cA	1,36 dA	1,52 cA	1,57 cA
Cana orgânica	2,32 bA	2,54 bA	2,64 aA	2,22 bB

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5 % de probabilidade. As letras minúsculas comparam os sistemas na coluna, na mesma época ou na mesma camada. As letras maiúsculas comparam os sistemas na mesma linha, considerando a mesma variável (Época ou Camada).

Na camada 0-10 cm, o N_{BMS} representa 2,85 % do nitrogênio total do solo no Cerrado. Nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, o N_{BMS} representou 1,52 % na área sob cana queimada, 2,21 % na sob cana crua e 2,64 % na cana orgânica, do nitrogênio total do solo. A relação $N_{BMS}:N_{total}$ no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar foi inferior ao Cerrado, porém foi semelhante ao solo sob pastagem. Na camada 0-10 cm o sistema de cultivo orgânico foi 12,34 % superior à área de pastagem e na camada 10-20 cm eles foram semelhantes.

5.4. CONCLUSÕES

1. O sistema de cultivo orgânico, quando comparado ao sistema de cultivo convencional promove aumentos significativos no C_{BMS} e N_{BMS} . Nas duas épocas de amostragens, o sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar apresentou maior teor de C_{BMS} e N_{BMS} em relação ao sistema de cultivo convencional, com e sem a queima.
2. Nos solos cultivados com a cana de açúcar, a maior atividade microbiana é maior no sistema de cultivo convencional com a queima da palhada.
3. Em relação ao solo do Cerrado nativo, observa-se que este possui teores mais elevados de N_{BMS} e de C_{BMS} do que os solos cultivados com a cana-de-açúcar.
4. Os teores de C_{BMS} na área sob pastagem, em geral, foram superiores aos encontrados nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar.
5. Os solos sob cultivo orgânico da cana-de-açúcar são mais eficientes na imobilização do nitrogênio na biomassa microbiana do solo, do que os solos sob o cultivo convencional.

5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A.C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica Lavras**, v. 23, n. 3, p. 617-625, jul/set., 1999.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.
- ANDRÉA, M. M. & PETTINELLI Jr, A. Efeito de aplicações de pesticidas sobre a biomassa e a respiração de microrganismos de solos. **Arquivos do Instituto Biológico de São Paulo**, v.67, n. 2, p. 223-228., 2000.
- AQUINO, F. de G. e AGUIAR, L. M. de SOUZA. Caracterização e Conservação da Biodiversidade do Bioma Cerrado. In: **Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação para o Cerrado**. Editado por FALEIRO, F. G. e SOUZA, E. dos S. de. Planaltina , DF: Embrapa Cerrados, 2007. 138 p. : il.
- ARANTES, A. S. do C. M.; LAVORENTI, A. & TORNISIELO, V. L. **Efeito da calagem e do glifosato na atividade microbiana de diferentes classes de solo**. Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente, Curitiba, v.17, p. 19-28, jan./dez. 2007.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- BEZERRA, R. G. D.; SANTOS, T. M. C.; ALBUQUERQUE, L. S.; CAMPOS, V. B.; PRAZERES, S. S. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo. **Revista Verde**, v. 3, n. 4, p. 64-69, 2008.
- BREMNER, J. M.; MULVNEY, C. S. Nitrogen total. In: **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, USA. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph nº9. p. 595-641, 1982.
- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S. e CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n. 6, p.631-637, jun. 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. C.; REIS, D. F.; PEREIRA, H. S. & AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276-283, 2008.

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R. F. e RIBEIRO JUNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 399-406, 2007.

COSTA, A. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul., 2006.

DALAL, R. C. Soil microbial biomass – What do the numbers really mean?. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.38, p. 649-665, 1998.

FAEG- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE GOIÁS. **Posicionamentos e Recomendações do Sistema Sindical Rural referentes à Expansão da Cultura da Cana-de-açúcar em Goiás: Bases para Discussão**. Goiânia: FAEG/SENAR, 2007. 35p.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S. de e SILVA JÚNIOR, J. M. T. da. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, p. 250-257, 2006.

FRAGOSO, C. ROJAS, P.; BROWN, G. The role of soil macrofauna in the paradigm of tropical soil fertility: some research imperatives. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Eds.). **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 421-428.

GALDOS, M.V., CERRI, C.C., CERRI, C.E.P. 2009. **Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil**. *Geoderma* doi:10.1016/j.geoderma.2009.08.025.

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, Genesis, 1999. p. 227-244.

GONÇALVES, N. H. Manejo do solo para implantação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, CP 2, 2006. 415 p. : il.

LITTELL, R. C., MILLIKEN, G.A., STROUP, W.W., WOLFINGER, R.D. **SAS System for Mixed Models**. 2006.

MIRANDA, J. R. & AVELLAR, L. M. de. Sistemas agrícolas sustentáveis e biodiversidade faunística: o caso da cana orgânica em manejo agroecológico. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v.3, n. 2, p. 1-13, 2008.

MONTEIRO, M. T. & GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, Nitrogênio e Atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serrapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 819-826, 2004.

OLIVEIRA, T. A. de; SANTOS, J. B. dos; CAMELO, G. N.; BOTELHO, R. G. & LÁZARI, T. M. de. Efeito da interação do Nicosulfuron e Chlorpyrifos sobre o banco de sementes e os

atributos microbianos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 563-570, 2009.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L. M. de O.; CAMPO, R. J. & TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1397-1412, 2007.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G. e McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.567-573, 2004.

PIMENTEL, M. S.; AQUINO, A. M.; CORREIRA, M. E. F.; COSTA, J. R.; RICCI, M. S. F.; DE-POLLI, H. Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de cafeeiro, pastagem e floresta em região do médio do Paraíba fluminense-RJ. **Coffee Science**, v. 1, n. 2, p. 85-93, 2006.

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

SEARLE, S.R., CASELLA, G. , McCULLOCH, C.E. **Variance Components**. Wiley.1992. SAS Institute. SAS STAT. Proc Mixed. Release 9.1. 2003.

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

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

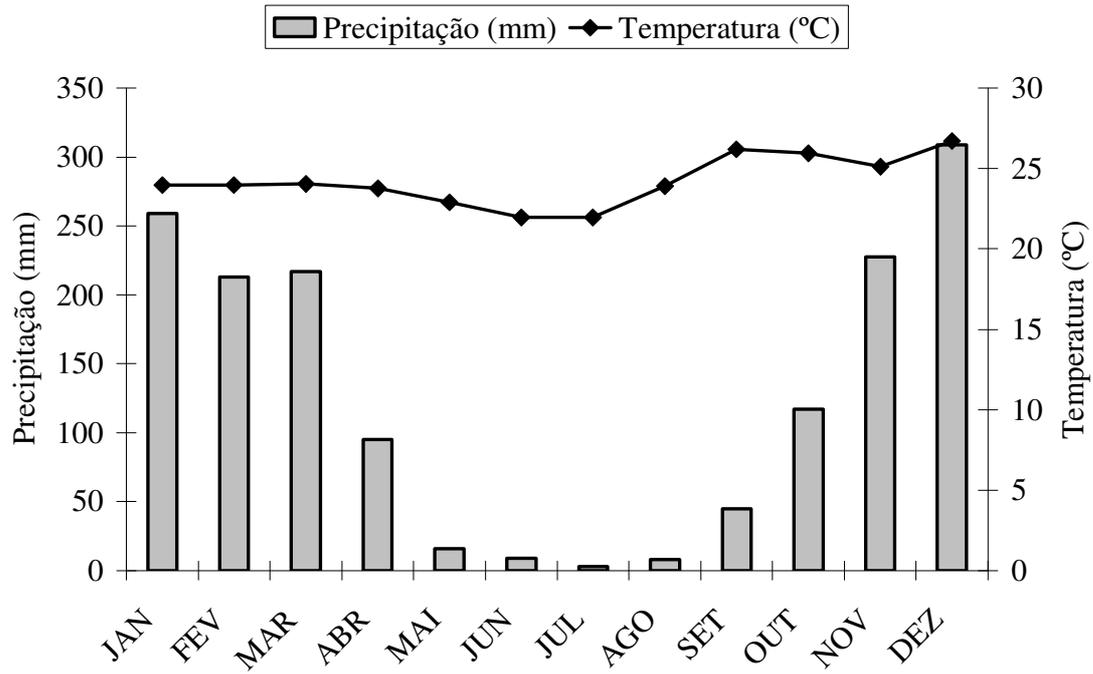
WARDLE, D. A. & HUNGRIA, M. A. / In: ARAÚJO, R. S. & HUNGRIA, M., eds. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília, Embrapa-SPI, 1994. p. 193-216.

WERNER, M. R. **Soil quality characteristics during conversion to organic orchard**. Applied Soil Ecology, v. 5, p. 151-167, 1997.

ANEXOS

Anexo A.	Médias mensais de precipitação (1985-2008) e temperatura (2008-2009). Dados da estação Meteorológica localizada na Usina Jalles Machado em Goianésia-GO.....	70
Anexo B.	Características dos sistemas de uso e manejo instalados em Latossolo Vermelho, no município de Goianésia – GO.....	71
Anexo C.	Elementos contidos nos resíduos vegetais coletados na superfície dos solos nas áreas de Cerrado (CE), pastagem (PT), cana crua (CC), cana queimada (CQ) e cana orgânica (CO), em agosto de 2008, fevereiro de 2009 e agosto de 2009.....	72
Anexo D.	Sistemas de uso e manejo do solo: (a): Área sob cultivo orgânico da cana-de-açúcar. (b): área sob pastagem. (c): Área sob Cerrado. (d): Área sob cana queimada (e): Área sob cana crua.....	73
Anexo E.	Croqui da área sob cultivo orgânico da cana-de-açúcar.....	74
Anexo F.	Perfil do solo, após coleta de amostras indeformadas de solo.	74
Anexo G.	ANEXO G. Caracterização física e química do solo coletado em agosto de 2008.....	75
Anexo H	Adubos e corretivos aplicados na área de cana-queimada.....	76
Anexo I	Adubos e corretivos aplicados na área de cana crua.....	76
Anexo J	Adubos e corretivos aplicados na área de cana orgânica.....	77

ANEXO A. Médias mensais de precipitação (1985-2008) e temperatura (2008-2009). Dados da estação Meteorológica localizada na Usina Jalles Machado em Goianésia-GO.



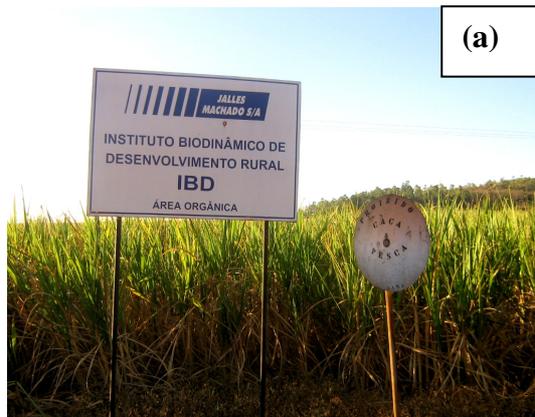
ANEXO B. Características dos sistemas de uso e manejo instalados em Latossolo Vermelho, no município de Goianésia – GO.

Sistema de uso e manejo	Símbolo	Histórico
Cerrado	CE	Remanescente de mata nativa do tipo Cerradão, sem qualquer exploração ou interferência antrópica. Denominada mata dos macacos, pois é grande a presença desses animais no local.
Pastagem	PT	Pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> cultivar marandu. Antes de 1992 a área era ocupada por uma pastagem natural com o capim Jaraguá nativo. Entre 1993 até 1997 a área era ocupada por um capoeirão. Entre 1998 a 2002 estava ocupada com pastagem. Em 2003 foi reformada e plantou se milho e sorgo, antes do plantio a área foi calcariada e adubada com a formula NPK 4-30-10. Até 2005 foi cultivado milho e sorgo. Em 2006 a área foi novamente calcariada e adubada e plantou se milho e pastagem <i>Brachiaria brizantha</i> cultivar marandu, a qual ocupa a área atualmente. É uma área de 4 ha de propriedade de Iranir Borges, denominada fazenda caiçara. É conduzida sob pastejo de bovinos em regime semi-intensivo.
Cana orgânica	CO	Área de 136,21 ha, cultivada com a variedade SP-860155. A área é cultivada com cana desde 1984. <ul style="list-style-type: none"> - Junho 1999: 1 ° corte - Junho 2000: 2 ° corte - Junho 2001: 3 ° corte - Agosto 2002: 4 ° corte - Agosto 2003: 5 ° corte - Julho 2004: 6 ° corte - Março 2005: plantio - Julho 2006: 1 ° corte - Junho 2007: 2 ° corte - Agosto 2008: 3 ° corte
Cana crua	CC	Total da área 121,53 ha, cultivada com a variedade RB-867515, a qual foi plantada em fevereiro de 2005. <ul style="list-style-type: none"> - Abril 2001: plantio - Outubro 2002: 1° corte - Novembro 2003: 2 ° corte - Julho 2004: 3 ° corte - Março 2005: Plantio - Julho 2006: 1 ° corte - Setembro 2007: 2 ° corte - Julho 2008: 3 ° corte
Cana queimada	CQ	Área total de 40,6 ha, cultivada com a variedade RB-867515. A área foi arrendada em 01/01/1991. Desde então é cultivada com a cana. Todos esses anos as colheita foram manuais, realizando se a queima da palhada antes da colheita. <ul style="list-style-type: none"> - Fevereiro 2001: plantio - Novembro 2002: 1 ° corte - Novembro 2003: 2 ° corte - Setembro 2004: 3 ° corte - Março 2005: plantio - Agosto 2006: 1 ° corte - Maio 2007: 2 ° corte - Maio 2008: 3 ° corte

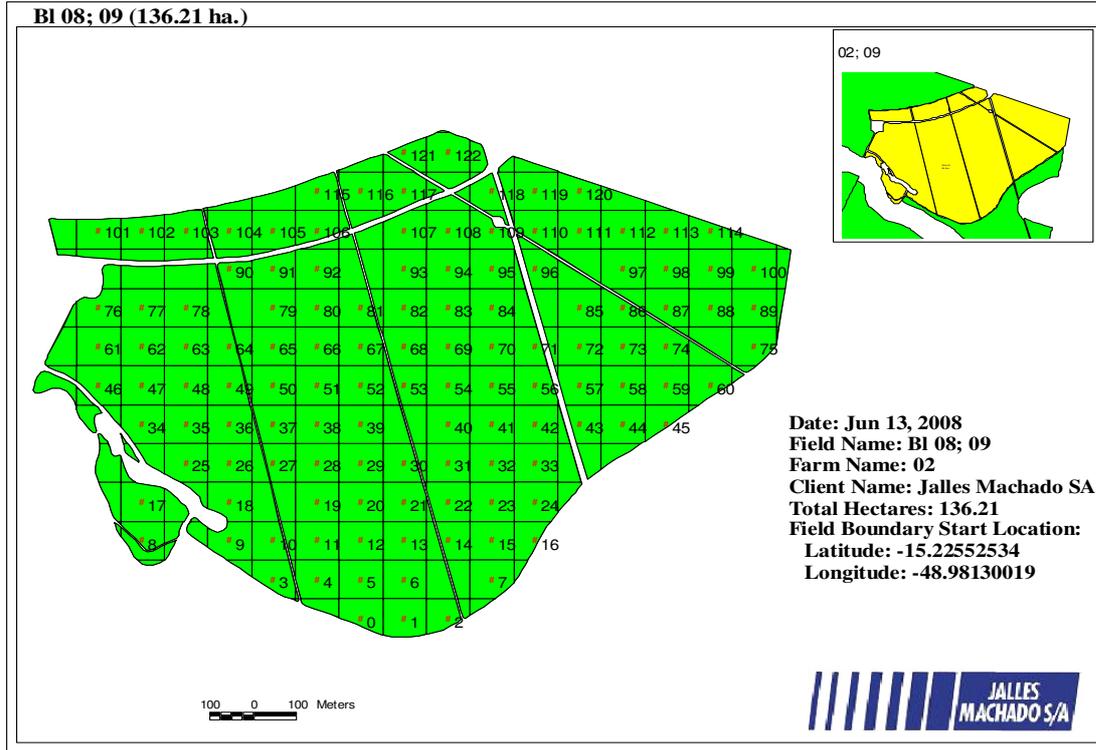
ANEXO C: Elementos contidos nos resíduos vegetais coletados na superfície dos solos nas áreas de Cerrado (CE), pastagem (PT), cana crua (CC), cana queimada (CQ) e cana orgânica (CO), em agosto de 2008, fevereiro de 2009 e agosto de 2009.

	CO	C/N	Nt	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	(%)		(g kg ⁻¹)						mg kg ⁻¹				
CE AGO 2008	42,4	28,1	15,1	0,5	4,0	13,8	2,1	0,8	28,0	22,0	1641	343	9,0
CE FEV 2009	39,8	26,3	15,1	0,5	1,1	15,5	1,6	0,9	22,0	23,0	5002	413	12,0
CE AGO 2009	37,9	24,0	15,8	0,4	2,3	17,8	1,8	0,8	29,9	20,0	1582	435	9,9
PT AGO 2008	39,8	47,9	8,3	0,4	6,9	2,5	1,8	0,4	9,0	16,0	1040	82	4,0
PT FEV 2009	38,6	46,5	8,3	0,3	0,5	2,3	0,7	0,4	7,0	22,0	4871	93	5,0
PT AGO 2009	41,3	60,0	6,8	0,4	1,6	2,7	1,3	0,3	6,0	37,0	2404	96	4,0
CC AGO 2008	41,6	46,3	9,0	0,5	5,6	2,7	1,4	0,6	13,0	12,0	837	36	3,0
CC FEV 2009	33,4	31,5	10,6	0,6	1,0	3,6	0,6	0,8	7,0	27,0	-	105	9,0
CC AGO 2009	41,3	49,7	8,3	0,4	2,9	3,6	1,0	0,9	9,0	17,0	3166	49	4,0
CQ AGO 2008	40,5	45,0	9,0	0,7	9,5	0,9	1,0	0,3	7,0	22,0	813	55	5,0
CQ FEV 2009	36,8	40,8	9,0	0,4	0,7	6,1	1,3	0,6	10,0	27,0	-	151	14,0
CQ AGO 2009	39,0	34,5	11,3	0,7	2,4	3,0	1,1	0,7	7,0	32,0	6374	65	9,0
CO AGO 2008	38,6	39,4	9,8	0,9	12,4	3,1	1,1	1,2	17,0	19,0	3086	94	5,0
CO FEV 2009	34,9	27,2	12,8	1,0	1,8	5,1	1,2	1,4	9,0	45,0	-	192	18,0
CO AGO 2009	41,3	42,1	9,8	0,6	4,4	3,7	0,9	0,7	7,0	18,0	4825	75	7,0

ANEXO D. Sistemas de uso e manejo do solo: (a): Área sob cultivo orgânico da cana-de-açúcar. (b): área sob pastagem. (c): Área sob Cerrado. (d): Área sob cana queimada (e): Área sob cana crua.



ANEXO E. Croqui da área sob cultivo orgânico da cana-de-açúcar.



ANEXO F. Perfil do solo, após coleta de amostras indeformadas de solo.



ANEXO G. Caracterização física e química do solo coletado em agosto de 2008.

Características											
0-10 cm											
	pH (CaCl ₂)	Al ³⁺	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺	H+Al	CTC ef	P	K	Areia	Silte	Argila
		cmol _c kg ⁻¹				(cmol _c dm ⁻³)	(mg kg ⁻¹)		(%)		
CE	4,58	0,49	2,66	2,59	6,48	4,16	5,00	0,080	22	30	48
PT	5,64	0,00	2,57	3,42	2,88	4,92	4,24	0,088	47	17	36
CC	5,50	0,00	2,32	2,25	2,22	3,26	12,38	0,022	41	25	34
CQ	5,98	0,00	1,85	3,39	2,28	5,44	19,24	0,120	35	20	45
CO	5,94	0,00	3,80	6,23	1,98	8,51	33,60	0,564	23	25	52
10-20 cm											
CE	4,24	1,11	1,39	0,71	6,50	2,37	3,24	0,026	23	28	49
PT	5,68	0,00	2,81	3,81	2,82	5,32	3,62	0,005	47	15	38
CC	5,50	0,00	2,38	1,93	2,50	2,75	13,06	0,005	41	25	34
CQ	6,02	0,00	1,80	3,13	2,46	4,94	12,48	0,043	35	20	45
CO	6,02	0,00	2,50	4,18	2,32	6,65	18,34	0,764	22	23	55
20-30 cm											
CE	4,26	1,11	1,34	0,45	5,92	1,93	2,10	0,017	21	29	50
PT	5,80	0,00	2,63	3,17	2,64	4,51	2,56	0,005	46	16	38
CC	5,42	0,09	2,01	1,53	2,58	2,41	20,06	0,005	43	21	36
CQ	5,76	0,02	1,71	2,59	2,72	4,14	17,42	0,013	31	25	44
CO	5,50	0,00	1,99	2,23	3,18	3,98	18,2	0,624	21	19	60
30-40 cm											
CE	4,20	1,10	2,02	0,34	5,80	1,66	1,76	0,008	20	28	52
PT	5,84	0,00	3,00	2,71	2,70	3,63	1,68	0,005	46	16	38
CC	5,14	0,21	2,03	0,96	2,44	1,63	15,92	0,005	41	23	36
CQ	5,50	0,25	1,72	1,84	2,88	3,27	17,24	0,014	31	25	44
CO	5,30	0,05	1,83	1,73	3,36	3,29	25,60	0,559	21	18	61
40-50 cm											
CE	4,24	0,97	2,10	0,25	5,34	1,36	0,92	0,005	20	28	52
PT	5,78	0,00	3,58	2,03	2,32	2,70	0,96	0,005	46	15	39
CC	5,06	0,21	1,88	0,71	2,66	1,33	7,46	0,005	41	21	38
CQ	5,26	0,18	1,59	1,29	2,96	2,36	11,06	0,008	31	24	45
CO	5,20	0,04	1,88	1,49	3,32	2,80	10,76	0,465	21	19	60
50-60 cm											
CE	4,28	0,82	1,50	0,19	4,40	1,13	0,72	0,005	20	28	52
PT	5,74	0,00	3,96	1,79	2,10	2,32	0,72	0,005	47	15	38
CC	5,06	0,16	2,24	0,58	2,34	1,03	6,62	0,005	40	23	37
CQ	5,20	0,13	1,57	0,88	2,72	1,62	2,62	0,015	31	25	44
CO	5,20	0,08	2,03	1,40	3,18	2,64	5,64	0,429	20	20	60

(CE) Cerrado; (PT) pastagem; (CC) cana crua; (CQ) cana queimada; (CO) cana orgânica.

ANEXO H. Adubos e corretivos aplicados na área de cana-queimada.

Descrição	Data da aplicação	Quant. L ou kg/ha	Razão Social
CALCARIO DOLOMITICO	11/11/2004	55,880	MIBASA MIN BARRO ALTO LTD
CALCARIO DOLOMITICO	11/11/2004	8,280	MIBASA MIN BARRO ALTO LTD
ARAD (FERTILIZANTE)	14/12/2004	14,400	GRILO'S SERVICOS LTDA
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	28/2/2005	2,000	FERTILIZANTES ALIANÇA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	7/3/2005	3,000	FERTILIZANTES ALIANÇA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	15/3/2005	6,120	FERTILIZANTES ALIANÇA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	18/3/2005	6,990	FERTILIZANTES ALIANÇA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	20/4/2005	7,900	FERTILIZANTES ALIANÇA LTD

ANEXO I. Adubos e corretivos aplicados na área de cana crua.

Descrição	Data da aplicação	Quant. L ou kg/ha	Razão Social
GESSO AGRICOLA	13/5/2006	12,000.000	NUTRION AGRONUTRIENTES LT
CALCARIO DOLOMITICO	13/5/2006	12,000	PIRECAL PIRENOLIS CALC.
GESSO AGRICOLA	31/8/2006	100,000	NUTRION AGRONUTRIENTES LT
CALCARIO DOLOMITICO	7/9/2006	100,000	MIBASA MIN BARRO ALTO LTD
ARAD (FERTILIZANTE)	6/1/2005	7,510	GRILO'S SERVIÇOS LTDA
ARAD (FERTILIZANTE)	7/1/2005	13,050	GRILO'S SERVIÇOS LTDA
ARAD (FERTILIZANTE)	10/1/2005	25,690	GRILO'S SERVIÇOS LTDA
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	7/2/2005	1,200	FERTILIZANTES ALIANCA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	15/2/2005	.000	FERTILIZANTES ALIANCA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	15/2/2005	10,060	FERTILIZANTES ALIANCA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	22/2/2005	11,990	FERTILIZANTES ALIANCA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	24/2/2005	10,910	FERTILIZANTES ALIANCA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	25/2/2005	12,140	FERTILIZANTES ALIANCA LTD
ADUBO 04-28-20 + 0.4% ZN.	28/2/2005	11,830	FERTILIZANTES ALIANCA LTD
CALCARIO DOLOMITICO	26/11/2004	160,560	MIBASA MIN BARRO ALTO LTD
ARAD (FERTILIZANTE)	30/12/2004	12,850	GRILO'S SERVIÇOS LTDA

ANEXO J. Adubos e corretivos aplicados na área de cana orgânica.

CALCARIO DOLOMITICO	27/7/2004	55,340	MIBASA MIN BARRO ALTO LTD
ARAD (FERTILIZANTE)	10/2/2005	7,070	BUNGE FERTILIZANTES S/A
SEMENTE DE GIRASSOL AGUAR	10/2/2005	18,000	ATLANTICA SEMENTES LTDA
ARAD (FERTILIZANTE)	15/2/2005	6,600	BUNGE FERTILIZANTES S/A
SEMENTE DE GIRASSOL CHARR	16/2/2005	13,000	ATLANTICA SEMENTES LTDA
ARAD (FERTILIZANTE)	25/2/2005	9,610	BUNGE FERTILIZANTES S/A
SEMENTE DE GIRASSOL CHARR	25/2/2005	13,000	ATLANTICA SEMENTES LTDA
ARAD (FERTILIZANTE)	11/4/2005	5,800	BUNGE FERTILIZANTES S/A
ARAD (FERTILIZANTE)	12/4/2005	9,750	BUNGE FERTILIZANTES S/A
ARAD (FERTILIZANTE)	12/4/2005	6,160	BUNGE FERTILIZANTES S/A
ARAD (FERTILIZANTE)	13/4/2005	7,670	BUNGE FERTILIZANTES S/A
ARAD (FERTILIZANTE)	13/4/2005	8,050	BUNGE FERTILIZANTES S/A
ARAD (FERTILIZANTE)	20/4/2005	9,470	BUNGE FERTILIZANTES S/A
ARAD (FERTILIZANTE)	20/4/2005	3,300	BUNGE FERTILIZANTES S/A
ARAD (FERTILIZANTE)	20/4/2005	8,230	BUNGE FERTILIZANTES S/A
COMPOSTO VEGETAL	18/5/2005	10,000	NATURAL RURAL I.C.P.O.B.L
COMPOSTO VEGETAL	8/7/2005	14,000	NATURAL RURAL I.C.P.O.B.L
COMPOSTO VEGETAL	24/7/2007	20,000	NATURAL RURAL I.C.P.O.B.L
COMPOSTO VEGETAL	24/7/2007	20,000	NATURAL RURAL I.C.P.O.B.L
GESSO AGRICOLA	31/7/2007	160,250	NUTRION AGRONUTRIENTES LT