

**LETÍCIA SILVA DE ALMEIDA**

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E ESTOQUE DE  
CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO COM COBERTURA EM  
ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA – JAÍBA-MG**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Luiz Arnaldo

Montes Claros-MG  
2015

A447a  
2015 Almeida, Letícia Silva de.

Atributos microbiológicos e estoque de carbono e nitrogênio do solo com cobertura em áreas de cana-de-açúcar irrigada – Jaíba-MG / Letícia Silva de Almeida. Montes Claros: Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, 2015. 68 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes.

Banca examinadora: Luiz Arnaldo Fernandes, Regynaldo Arruda Sampaio, Fabiana Abreu de Rezende.

Inclui bibliografia: f. 60-68.

1. Cana-de-açúcar. 2. Cobertura morta. 3. Indicadores (Biologia). 4. Sequestro de Carbono. 5. Biomassa - Microorganismos do solo. I. Fernandes, Luiz Arnaldo. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 633.61

LETÍCIA SILVA DE ALMEIDA

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E ESTOQUE DE CARBONO E  
NITROGÊNIO DO SOLO COM COBERTURA EM ÁREAS DE CANA-DE-  
AÇÚCAR IRRIGADA – JAÍBA-MG

---

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes  
(Orientador – ICA-UFMG)

Aprovada em 09 de julho de 2015

Montes Claros-MG  
2015

*Dedico à minha família, por todo apoio, amor e compreensão.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, dando-me força, coragem e saúde para superar todos os obstáculos a mim impostos.

À minha família, pelo apoio, esforço, amor, doação em toda a trajetória de minha vida.

Ao professor Luiz Arnaldo Fernandes, pela orientação, disposição, solicitude, paciência, conselhos e amizade.

À professora Leidivan, pela sua coorientação, sendo sempre muito gentil, atenciosa e minuciosa para a execução deste projeto.

Ao professor Reginaldo Arruda Sampaio, por ter concedido o espaço físico do Laboratório de Resíduos para realização de todas as análises.

Ao Márcio Neves Rodrigues, pela paciência e ajudas prestadas durante a fase de laboratório.

À Sada Bio-Energia, pela disponibilidade e cessão das áreas experimentais para execução deste projeto.

Ao meu namorado, Breno Carneiro, pela paciência de sempre, pelo incentivo e por me ouvir nos momentos mais delicados, quando precisei.

Aos meus companheiros, Agda Oliveira, Paulo Cardoso, Fernanda de Oliveira, pela disponibilidade, amizade, tolerância e carinho. Por saberem lidar com os meus estresses e momentos de ansiedade.

À minha amiga Verônica Ferreira, parceira de projeto, sempre disposta a me ajudar quando precisava.

Aos meus amigos, Luís Henrique, Isley, Rúbens e Graciele, por fazerem meus dias mais alegres, divertidos e descontraídos.

A todos os colegas de mestrado, pelo apoio e amizade.

À equipe do Laboratório de Solos, principalmente ao Sr. Manoel e ao Ismael, que contribuíram para realização de parte desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Minas Gerais e, especialmente, ao Instituto de Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização do mestrado.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, uma das matérias-primas mais importantes para a fabricação de etanol, o que coloca o país numa posição privilegiada no mercado mundial de biocombustíveis. Nos últimos anos, o cultivo da cana-de-açúcar tem se expandido para áreas marginais com baixa fertilidade e com problemas de déficit hídrico. O uso da irrigação representa uma revolução na tecnologia de produção de cana-de-açúcar, pois, além de aumentar a produtividade, eleva a longevidade do canavial. Para atingir as metas nacionais de produção, consumo e exportação de etanol, previstas para 2020, a área de cultivo com cana-de-açúcar deverá ocupar aproximadamente 19 milhões de hectares. As práticas de manejo utilizadas no cultivo da cana-de-açúcar podem influenciar nos estoques de carbono e nutrientes. A manutenção da palhada da cana-de-açúcar sobre a superfície do solo favorece os processos biológicos do solo responsáveis pela ciclagem de nutrientes e a manutenção dos teores de matéria orgânica. Dessa forma, torna-se importante a utilização de bioindicadores para avaliar e monitorar a dinâmica do carbono do solo em cultivo da cana-de-açúcar em áreas irrigadas. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da mudança de uso da terra para cultivos irrigados de cana-de-açúcar na dinâmica do carbono orgânico, nitrogênio total e atributos microbiológicos do solo ao longo do tempo. Foram selecionadas quatro áreas de cultivo, Cana 6, Cana 7, Cana 8 e Cana 10 – sendo que os números representam os anos de cultivo com cana-de-açúcar –, e uma área sob vegetação nativa (VN), adjacente aos cultivos. Foram coletadas três amostras compostas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade em cada área de estudo. As amostras foram processadas e analisadas quanto ao estoque de C e N e quanto às seguintes propriedades biológicas: C da biomassa microbiana do solo (C-BMS); respiração basal do solo (RBS); quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ); e quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ). O sistema Cana 8 apresentou os maiores valores de C-BMS e os menores de  $q\text{CO}_2$ , enquanto que os maiores valores de respiração basal e de estoque de C e N foram observados na área sob VN. Esses resultados podem ser

atribuídos à deposição constante de serapilheira e à atividade biológica na VN. A implementação e a renovação de canaviais irrigados afetam a funcionalidade dos processos biológicos do solo. No entanto, a manutenção da palhada na superfície do solo, ao longo tempo, contribui para a eficiência de utilização de carbono orgânico pelos microrganismos do solo e para aumentar os estoques de carbono e de nitrogênio deste, semelhantes aos níveis encontrados em áreas de vegetação nativa.

**Palavras-Chave:** Cana-de-açúcar, palhada, bioindicadores, estoque de C e N.

## ABSTRACT

Brazil is the largest sugarcane producer in the world, one of the most important raw materials for the ethanol production, which puts the country in a privileged position in the global biofuels market. In recent years the cultivation of sugarcane has expanded into marginal areas with low soil fertility and water deficit problems. The use of irrigation is a revolution in the sugarcane production technology, since it increases the productivity and the longevity of sugarcane fields. In order to meet the national targets for ethanol production, consumption and export, planned for 2020, the sugarcane cultivation area should occupy approximately 19 million hectares. Soil management practices used in the sugarcane cultivation can influence the carbon and nutrient stocks. The maintenance of the sugarcane trash on the soil surface favors the biological processes responsible for soil nutrient cycling and maintaining the organic matter content. Thus, it becomes important to use soil bioindicators to assess and monitor the dynamics of soil carbon in irrigated sugarcane fields. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of land use change into irrigated sugarcane crops in the dynamics of soil organic carbon, total nitrogen and microbiological attributes over time. Four cultivation areas were selected, named Cana 6, Cana 7, Cana 8, Cana 10 – where the numbers represent the years of sugarcane cultivation –, as well as a native vegetation (NV) area, localized next to the crops. Three composite samples of the soil were collected at 0-10, 10-20 and 20-30 cm deep in each study area. The samples were processed and analyzed for C and N stocks and the following biological properties: soil microbial biomass carbon (MBC); soil basal respiration (SBR), metabolic quotient ( $qCO_2$ ); and microbial quotient (qMIC). The Cana 8 system showed the highest values for MBC and the lowest values for  $qCO_2$ , while the highest values for basal respiration and C and N stocks were observed in the NV. Such results are probably due to the continuous deposition of plant litter and to the NV biological activity. The implementation and renewal of irrigated sugarcane fields affect the functionality of soil biological processes. However, the maintenance of the sugarcane trash on the soil surface for long time contributed to the organic

carbon use efficiency by soil microorganisms and to increase soil carbon and nitrogen stocks at levels similar to those found in areas of native vegetation.

**Keywords:** Sugarcane, sugarcane trash, bioindicators, carbon and nitrogen stocks.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BMS – Biomassa Microbiana do Solo

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

C-BMS – Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

COT – Carbono Orgânico Total

DIJ – Distrito de Irrigação de Jaíba

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ICA – Instituto de Ciências Agrárias

MOS – Matéria Orgânica do Solo

$qCO_2$  – Quociente Metabólico

$qMIC$  – Quociente Microbiano

RBS – Respiração Basal do Solo

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

VN – Vegetação Nativa

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### **CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO NO CULTIVO IRRIGADO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

- FIGURA 1** - Localização das áreas de cultivo irrigado de cana-de-açúcar situadas no Norte de Minas Gerais..... **34**
- FIGURA 2** - Histórico de utilização da área de estudo ..... **35**
- FIGURA 3** - Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo os atributos microbiológicos, físicos e químicos (carbono na biomassa microbiana; respiração basal do solo, teores de carbono total, nitrogênio total, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio disponíveis, areia, argila, densidade do solo e porosidade total, da camada de 0-10 cm de profundidade)..... **58**

## LISTA DE GRÁFICOS

### **CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO NO CULTIVO IRRIGADO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**GRÁFICO 1** - Estoque de C em áreas de cronossequência de cana-de-açúcar..... **46**

**GRÁFICO 2** - Estoque de N em áreas de cronossequência de cana-de-açúcar..... **48**

.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

<b>TABELA 1</b> - Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.....	<b>21</b>
--	-----------

### CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO NO CULTIVO IRRIGADO DA CANA-DE-AÇÚCAR

<b>TABELA 1</b> - Teores de areia, silte, argila e densidade do solo em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar e vegetação nativa .....	<b>37</b>
--	-----------

<b>TABELA 2</b> - Caracterização química do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar e vegetação nativa.....	<b>38</b>
--	-----------

<b>TABELA 3</b> - Teores de C, N e relação C/N em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar.....	<b>44</b>
--	-----------

<b>TABELA 4</b> - C-BMS, RBS, $q\text{CO}_2$ e $C_{\text{mic}}:C_{\text{total}}$ (%) em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar.....	<b>50</b>
--	-----------

<b>TABELA 5</b> - Análise de correlação de Pearson entre Carbono na biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal do solo (RBS), quociente microbiano ( $q\text{CO}_2$ ) e relação C-BMS e carbono total ( $C_{\text{mic}}:C_{\text{total}}$ ), Carbono orgânico total (COT) e argila em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar, em amostras de solo coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade.....	<b>52</b>
---	-----------

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 Importância da cana-de-açúcar para a produção de etanol .....	15
2.2 Impactos ambientais da substituição da vegetação nativa pelo monocultivo .....	17
2.3 Indicadores de qualidade do solo.....	20
2.4 Estoque de c no solo sob diferentes manejos .....	26
<b>CAPÍTULO 2 – ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO NO CULTIVO IRRIGADO DA CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>29</b>
1 INTRODUÇÃO .....	31
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
4 CONCLUSÃO.....	59
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>

## **CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

A região Norte do Estado de Minas Gerais, conhecida como semiárido mineiro, é caracterizada pela má distribuição de chuvas ao longo do ano, restringindo o uso das terras para a agricultura. A precipitação média anual fica em torno de 900 mm, sendo caracterizada pela ocorrência de períodos de déficit hídrico e chuvas irregulares que ocorrem entre os meses de outubro e abril. Devido aos períodos de seca prolongados, há no Norte de Minas grandes projetos de irrigação, como o Projeto Jaíba, às margens do Rio São Francisco. Nos últimos anos, em áreas irrigadas do Projeto Jaíba, tem-se expandido o cultivo da cana-de-açúcar para a produção de etanol. O uso da irrigação representa uma revolução na tecnologia de produção de cana-de-açúcar, pois, além de aumentar a produtividade, eleva a longevidade do canavial.

O sistema de manejo adotado no cultivo da cana-de-açúcar pode influenciar a microbiota do solo, interferindo diretamente sobre os processos de mineralização e imobilização, principalmente no que concerne à quantidade de carbono fixado no solo ou liberado para atmosfera por meio da respiração dos microrganismos. A conversão do cultivo da cana-de-açúcar para uma forma de plantio direto ou cultivo mínimo terá impacto sobre a ciclagem biogeoquímica do carbono (C) e do nitrogênio (N) no sistema planta/solo (LUCA, 2002). A adição de mais de 10 toneladas de palhada por hectare no solo por ano influenciará todo o processo produtivo, desde a produtividade da cana (SOUZA et al., 2005), manejo e aplicação de fertilizantes (BASANTA, 2004; VITTI, 2003), taxas de erosão (BEZERRA e CANTALICE, 2006), dinâmica da matéria orgânica (SZAKÁCS, 2006; GALDOS, 2007) e emissão de CO<sub>2</sub> do solo (CAMPOS, 2003).

Por essa perspectiva, a eliminação da queima das folhas para facilitar a colheita, com a consequente conservação da palhada sobre o solo, pode prevenir a emissão de CO<sub>2</sub> pelo processo de combustão e promover o

sequestro de C no solo e retornar o N durante a decomposição da matéria orgânica do solo (GAVA, 1999).

Outros fatores contribuem para a aceleração da atividade microbiana e consequente liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, como pH: temperatura, textura do solo, disponibilidade e qualidade de nutrientes e umidade. Dessa forma, alguns bioindicadores de qualidade do solo têm sido frequentemente utilizados para avaliar as mudanças ocorridas no solo, seja por fatores inerentes ao manejo utilizado ou por fatores abióticos. Dentre eles, destacam-se a biomassa microbiana, a respiração basal do solo, o quociente metabólico e o quociente microbiano.

A utilização de bioindicadores pode facilitar o entendimento sobre a dinâmica do carbono do solo sob o cultivo da cana-de-açúcar, em áreas irrigadas na região Norte do Estado de Minas Gerais. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da mudança de uso da terra para cultivos irrigados de cana-de-açúcar na dinâmica do carbono orgânico, nitrogênio total e atributos microbiológicos do solo ao longo do tempo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância da cana-de-açúcar para a produção de etanol

De acordo com Diola e Santos (2012), a cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., pertence à família Poaceae e à classe das monocotiledôneas, além de possuir metabolismo C4. As primeiras espécies surgiram na Oceania, especificamente na Nova Guiné, e foram trazidas para o Brasil por colonizadores portugueses. Inicialmente, a cana foi implantada nos estados da Bahia e Pernambuco e, posteriormente, em São Paulo, se tornando uma das culturas mais importantes economicamente para o homem (MOZANBANI et al., 2006). Foi a primeira cultura introduzida no Brasil e é cultivada há quatro séculos no litoral do Nordeste. Nas últimas décadas, devido à necessidade de produção do etanol, essa cultura disseminou-se por quase todos os estados brasileiros, adaptando-se aos mais diferentes tipos de solos (EMBRAPA, 2013).

A cana-de-açúcar se adapta a condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, por isso pode ser cultivada em diversas regiões do Brasil (SEGATO et al., 2006). Segundo Silva-Olaya (2010), a importância do cultivo da cana-de-açúcar está atrelada aos seus usos múltiplos, podendo ser empregada sob a forma de forragem, para alimentação dos animais, para a fabricação de açúcar, álcool, rapadura, melado e aguardente.

De acordo com a CONAB (2015a), a cana-de-açúcar é destinada principalmente para a produção de açúcar e álcool com vistas à produção de etanol, alavancando o setor sucroalcooleiro nacional e se tornando referência no agronegócio para os demais países produtores de açúcar e álcool. Esse setor vem ganhando novos investimentos nos últimos anos, com o objetivo de atender à demanda por açúcar e etanol nos mercados interno e externo (BRASIL, 2007).

O Brasil destaca-se no mercado mundial por ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido da Índia, China, Tailândia, México e Paquistão, além de ser também o maior produtor de açúcar e etanol

(BRASIL, 2013; CONAB, 2015b). Para a safra 2015/2016, a área estimada para o cultivo da cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira é de 9.070,4 mil hectares, distribuídos em todos os estados produtores. Essa área deverá apresentar um crescimento de 0,73% ou 65,9 mil hectares em relação à safra de 2014/2015. Minas Gerais representa o terceiro maior estado produtor, com área de 805,5 mil hectares e correspondendo a 9,4% da produtividade nacional (CONAB, 2015b).

Ainda de acordo com os dados disponibilizados pela CONAB (2015b), a produtividade estimada da safra de 2015/2016 apresentou aumento de aproximadamente 2,4% em relação à safra anterior. A produção total foi estimada em 654,6 milhões de toneladas, sendo que mais da metade, cerca de 367,72 milhões de toneladas, deve ser destinada à produção do etanol.

O etanol é o biocombustível dominante nos mercados mundiais e está ganhando maior importância como fonte energética combustível em iniciativas adotadas por vários países, devido às suas vantagens ambientais. O Brasil é pioneiro na produção em larga escala de etanol e em seu uso como combustível alternativo, utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima. O etanol é considerado como o álcool etílico de biomassa, para uso combustível ou industrial, inclusive na produção de bebidas industrializadas. Dessa forma, a produção de etanol é composta pelo álcool anidro e pelo álcool hidratado. A expansão do setor automobilístico decorrente do aumento nas vendas e do uso de carros flex é atualmente o principal fator responsável pelo crescimento da produção de etanol no Brasil (BRASIL, 2007). O Brasil e os Estados Unidos são os maiores produtores de etanol, embora os Estados Unidos extraiam esse produto do milho. A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar no Brasil se concentra na região Sudeste, com 59,82% do total produzido no país, seguida pelo Centro-Oeste (27,06%), Nordeste (7,93%), Sul (4,38%) e Norte (0,81%) (CONAB, 2015a).

As perspectivas de produção da cana-de-açúcar no âmbito da matriz energética brasileira, considerando a produção de combustíveis para transporte e geração de energia elétrica, são da ordem de um bilhão de toneladas de cana em 2020, aproximadamente duas vezes mais do que a

produção atual, ocupando cerca de 7,3 milhões de hectares para o etanol (SOUZA e MACEDO, 2010).

Pacheco (2011) afirma que o mercado interno e externo de etanol deve crescer ainda mais, não somente devido ao aumento de vendas de bicombustíveis, mas devido às legislações ambientais que obrigam o uso de biocombustíveis em meios de transporte, ao cumprimento das exigências do Protocolo de Quioto e à mistura do biocombustível à gasolina. O uso do etanol é uma alternativa para diminuir problemas ambientais e energéticos no mundo em função da escassez e dos elevados preços dos combustíveis fósseis e da poluição gerada por eles. O etanol apresenta as vantagens de ser uma fonte renovável de energia e de contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono quando comparado à utilização de combustíveis fósseis, haja vista que a sua queima como combustível reduz em cerca de 77% as emissões de CO<sub>2</sub>, principal gás causador do efeito estufa, em comparação à gasolina (SOARES, 2009).

## **2.2 Impactos ambientais da substituição da vegetação nativa pelo monocultivo**

A substituição de ecossistemas naturais por culturas agrícolas provoca mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que culminam na sua degradação e, conseqüentemente, em perdas na produtividade do sistema de produção agrícola (FERREIRA et al., 2007).

O preparo intensivo do solo promove a sua desestruturação e conseqüente exposição da matéria orgânica à ação dos microrganismos. Por outro lado, sistemas de preparo do solo mais conservacionistas, como o plantio direto, promovem o aumento da matéria orgânica, a preservação do carbono da biomassa microbiana e a melhoria da qualidade do solo (SILVA et al., 2007b; MERCANTE et al., 2008).

Segundo Gonçalves (2006), o preparo convencional do solo consiste na realização de operações sucessivas, as quais variam de acordo com a região do agricultor, como gradagens pesadas, aração, subsolagem e gradagens niveladoras para deixar o terreno apto a receber a cultura. A

utilização dessas operações supracitadas tem objetivos de incorporar matéria orgânica, sementes e corretivos; restabelecer a porosidade original nas camadas superficiais do solo que foram compactadas; melhorar a drenagem do solo, rompendo zonas adensadas, possibilitando a penetração das raízes; destorroar a camada superficial do solo, procurando melhorar o contato da semente e reduzir a resistência mecânica do solo na emergência da planta; nivelar a superfície do solo; e melhorar a fitossanidade da cultura.

O processo de revolvimento do solo, caracterizado pelo sistema de plantio convencional, acelera os processos biológicos de oxidação, consumindo a matéria orgânica estocada, resultando na perda de C e da capacidade produtiva do solo, o que culmina com a sua degradação (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Portanto, a biomassa microbiana, a atividade da biomassa e o carbono orgânico do solo são atributos muito sensíveis ao manejo do solo, sendo os primeiros a serem afetados quando ocorre a mudança de um sistema em que não há ação antrópica para um sistema cultivado. Por isso, devem-se definir níveis adequados de cada atributo do solo, a fim de se realizar o manejo com menor degradação deste (SOUZA et al., 2006).

Segundo Araújo e Melo (2012), em sistemas de plantio convencional, a BMS pode apresentar maior conteúdo na camada de 0-20 cm em virtude do revolvimento do solo. Isso se deve ao rompimento de agregados do solo, expondo às argilas a matéria orgânica que muitas vezes se encontra protegida quimicamente e fisicamente.

Cunha et al. (2011) observaram redução dos valores médios de C-BMS – da ordem de 47,5 e 46,4% – apenas na camada superficial do solo de 0-10 cm para os experimentos sob preparo convencional, em comparação à mata nativa do cerrado, indicando que esse sistema de preparo contribui para reduzir a quantidade e, possivelmente, a diversidade de microrganismos, com grande impacto na microbiota do solo, ou ainda é possível que as adições de C oxidável nesse sistema não estejam sendo suficientes para atender à demanda para a manutenção da biomassa existente, o que ocasiona maior decréscimo nos valores de CBM.

De acordo com Araújo e Melo (2012), o sistema de plantio direto caracteriza-se pela semeadura realizada diretamente sobre os restos culturais do cultivo anterior, sem utilização de implementos agrícolas. Segundo esses autores, os restos culturais na superfície protegem o solo contra a erosão no período entre os cultivos, além de contribuir para manutenção de temperaturas e umidade mais adequadas para as plantas e a microbiota do solo.

Segundo Bayer et al. (2000), a adoção de sistemas de manejo sem o revolvimento do solo e o elevado aporte de resíduos resultam na minimização de CO<sub>2</sub> para atmosfera e sua retenção no solo, além de melhorar a qualidade devido ao aumento de MOS.

A matéria orgânica que fica depositada sobre o solo é um importante reservatório de nutrientes que, através da decomposição, podem ser disponibilizados para as plantas, contribuindo, dessa forma, para a recuperação da fertilidade do solo (CAMPOS, 2003).

Estudos realizados por Balota et al. (1998) evidenciaram maiores valores de BMS em sistemas de plantio direto em comparação ao sistema de preparo convencional, indicando, segundo Costa et al. (2006), que o sistema de plantio direto favorece a atividade biológica do solo.

Araújo e Melo (2012) afirmam que, para o sistema de plantio direto, os maiores valores de BMS se encontram na camada de 0-10 cm, fator decorrente da deposição dos resíduos vegetais na superfície do solo, o que resulta em uma maior quantidade de microrganismos que assimilam os nutrientes orgânicos, aumentando a BMS.

Venzke Filho et al. (2008) avaliaram a influência do tempo de adoção do sistema de plantio direto e a textura do solo sobre a dinâmica dos teores de C e N microbianos e concluíram que quanto maior o tempo de adoção do sistema, maior o aumento dos valores de C e N microbianos na camada de 0-20 cm, e quanto maior o teor de argila do solo, maiores serão as quantidades de C e N microbianos encontradas. Nessa perspectiva, o manejo dado ao solo é o fator determinante no estoque ou sequestro de C orgânico no solo.

### 2.3 Indicadores de qualidade do solo

O crescimento populacional, com o conseqüente aumento na demanda de alimentos e matérias-primas, tem provocado a exploração extrativista descontrolada dos recursos naturais do planeta, causando sérios prejuízos ambientais. A exploração agrícola tem contribuído para a degradação dos recursos naturais por meio do desmatamento, erosão do solo e uso de agroquímicos (SIQUEIRA et al., 1994).

Segundo De-Polli e Pimentel (2005), a agricultura envolve grandes extensões territoriais, influenciando sobre complexos nichos ecológicos e na cadeia alimentar de diversos indivíduos, em função da retirada da vegetação natural e conseqüente quebra do equilíbrio para estabelecimento, principalmente, de monoculturas. O uso de práticas conservacionistas não é suficiente para saber se há ou não otimização na utilização do solo. É essencial que se disponha de parâmetros de sustentabilidade e que esses parâmetros funcionem paralelamente e sejam termômetros de avaliação, quantificando e indicando o grau de conservação de um dado sistema.

De acordo com Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo é definida como a capacidade de um solo funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais.

A qualidade do solo é mensurada através do uso de indicadores. Esses indicadores são atributos que medem ou refletem o *status* ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Os principais indicadores físicos, químicos e biológicos bem como suas relações com a qualidade do solo são apresentados na TAB. 1.

**TABELA 1** – Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

	<b>Indicadores</b>	<b>Relação com a qualidade do solo</b>
<b>Físicos</b>	Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes
	Infiltração e densidade	Movimento de água e porosidade do solo
	Capacidade de retenção de umidade	Armazenamento e disponibilidade de água
<b>Químicos</b>	pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
	Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana
	Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
<b>Biológicos</b>	Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes
	Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes
	Respiração do solo	Atividade microbiana
	Fixação biológica	Potencial de suprimento de N para as plantas
	Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica no solo

Fonte: Adaptado de DORAN e PARKIN, 1994.

Dentre os atributos biológicos, De-Polli e Pimentel (2005) destacam alguns indicadores de qualidade do solo que são mais utilizados, como biomassa microbiana do solo, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano.

De acordo com Paredes Júnior (2012), é encontrada na literatura uma grande quantidade de informações sobre indicadores de caráter químico e físico, que permite, com certo grau de confiabilidade, definir faixas de valores adequados para essas características em diversos tipos de solos e culturas, no entanto a base de informações disponíveis sobre os dados biológicos ainda é pequena. Para Silva et al. (2007b), algumas pesquisas estão sendo desenvolvidas na área da biologia do solo no Brasil, devido à necessidade de dispor de bioindicadores sensíveis a mudanças provocadas pelo manejo do solo, porém ainda são necessários estudos que avaliem a qualidade do solo, de modo a fundamentar a análise dos fatores que comprometem o uso sustentável dos recursos naturais, permitindo a obtenção de índices de qualidade do solo que favoreçam uma avaliação integrada dos atributos físicos, químicos e biológicos.

Os bioindicadores são definidos como propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado desse ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento da qualidade do solo (DORAN e PARKIN, 1994). Os microrganismos se enquadram nesses critérios, podendo ser utilizados como bioindicadores sensíveis da qualidade do solo, pois possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças nele ocorridas, característica que não é observada nos indicadores químicos ou físicos. A presença ou a ausência desses bioindicadores podem representar às condições ambientais de uma área específica (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007; ZILLI et al., 2003).

Segundo Balota et al. (1998), os microrganismos do solo são responsáveis por processos de decomposição da matéria orgânica, contribuindo de forma direta na ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, mediando a sua disponibilidade no solo.

Diversos fatores podem interferir na comunidade microbiana do solo, como a temperatura, o pH, a salinidade, as fontes de energia e substratos orgânicos, os nutrientes, os elementos tóxicos, tipo de solo, o teor de matéria orgânica, a época do ano, a espécie vegetal e a região da raiz, podendo cada um desses fatores alterar a microbiota do solo de forma distinta. Além disso,

há os efeitos provocados pela mudança no manejo e cultivo do solo (LEITE e ARAÚJO, 2007; XAVIER et al., 2005).

De acordo com Brookes (1995), os critérios para a seleção e utilização de bioindicadores para o monitoramento da qualidade do solo devem ser exatos e precisamente avaliados para obtenção de respostas em uma ampla escala de tipos e condições de solo; devem ser fáceis e econômicos de serem avaliados, sensíveis a estresses, mas suficientemente robustos para não fornecer alarmes falsos; devem ter validação científica, com base na realidade e conhecimento atual e, por fim, devem ser utilizados dois ou mais atributos, independentes.

A matéria orgânica do solo é uma mistura complexa de tecidos vivos ou mortos e de substâncias orgânicas transformadas ou em seu estado original. A maior parte do carbono orgânico do solo encontra-se como matéria orgânica morta, principalmente na forma de húmus. A fração viva corresponde a, geralmente, 1 a 5% do total de materiais orgânicos do solo. Dessa fração viva, cerca de 5 a 10% são raízes, 60 a 80% microrganismos e 15 a 30% componentes da macrofauna. Portanto, a biomassa microbiana é representada pela matéria orgânica viva do solo, “os microrganismos” (ARAÚJO e MELO, 2012).

De acordo com Moreira e Siqueira (2006), a biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os organismos menores que  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ . A biomassa microbiana do solo é constituída de bactérias, fungos, actinomicetos, leveduras e representantes da microfauna, como os protozoários que atuam no processo de formação do solo, por meio da intemperização das rochas, manutenção da estrutura do solo, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, biorremediação de áreas contaminadas por poluentes e metais pesados (JENKINSON e LADD, 1981).

Há uma estreita relação entre matéria orgânica e BMS, pois, segundo Moreira e Siqueira (2006), a quantidade de BMS tende a refletir no conteúdo total de matéria orgânica. Portanto, espera-se encontrar maior quantidade de BMS em regiões com maior conteúdo de matéria orgânica.

A ação dos microrganismos sobre o material orgânico resulta em dois processos: mineralização e imobilização. A mineralização consiste na liberação de nutrientes em forma disponível para absorção da planta, principalmente nitrogênio, fósforo e enxofre, e na síntese de substâncias húmicas. Parte dos nutrientes disponíveis, durante o processo de mineralização, é absorvida pela microbiota do solo, sendo então imobilizada em formas orgânicas na BMS. Ao morrerem, os microrganismos que constituem a BMS vão servir como fonte de C, de energia e de nutrientes para outros microrganismos, de tal modo que a BMS constitui um reservatório temporário de nutrientes, participando ativamente nos ciclos do C, do N, do P, do S e de outros elementos presentes no ambiente do solo (ARAÚJO e MELO 2012).

O sistema de manejo do solo utilizado na agricultura pode interferir na quantidade de BMS encontrada. Perez et al. (2004) observaram que, em áreas de vegetação nativa, são encontrados valores superiores de biomassa microbiana em relação aos sistemas de preparo do solo que utilizam semeadura direta e implementos agrícolas. Segundo esses autores, isso evidencia que, em ecossistemas não perturbados, a deposição de resíduos orgânicos e a grande quantidade de raízes estimulam as atividades da microbiota do solo, principalmente nas camadas superficiais, mantendo os valores do  $C_{mic}$  estáveis. Já em ecossistemas perturbados com a utilização de diferentes práticas agrícolas, esses valores são comumente reduzidos.

A determinação da respiração do solo é a técnica utilizada frequentemente para quantificar a atividade microbiana, além de estar relacionada positivamente ao conteúdo de matéria orgânica e biomassa microbiana (ALEF e NANNIPIERI, 1995).

A respiração basal do solo, utilizada como indicador biológico de qualidade do solo, é definida, de acordo com Silva et al. (2007a), como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o  $CO_2$  é produzido, sendo as bactérias e os fungos os principais responsáveis pela maior liberação de  $CO_2$  por meio da degradação da matéria orgânica.

Segundo Araújo e Monteiro (2007), a respiração do solo pode ser determinada por duas formas: pela produção de  $CO_2$  ou pelo consumo de  $O_2$ .

A medida da produção de CO<sub>2</sub> é mais sensível, pois sua concentração na atmosfera é mais baixa (0,033%) do que a do O<sub>2</sub> (20%). A avaliação da respiração do solo geralmente é simples, barata e fácil de ser feita, podendo ser realizada em laboratório ou até mesmo em campo.

Vários fatores são atuantes na respiração microbiana, como a presença de substâncias inibidoras de crescimento microbiano, composição química do substrato e fatores nutricionais do solo, os quais têm sido considerados responsáveis pela redução na atividade microbiana (MERCANTE et al., 2008).

Durante a avaliação da qualidade de um solo submetido a sistemas de preparo convencional e plantio direto, Costa et al. (2006) registraram um valor mais elevado na respiração basal do sistema de plantio direto, possivelmente resultante do maior teor de MO presente e da alta atividade biológica.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) é a razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana e o tempo (ANDERSON, DOMSCH, 1993). Esse índice mede a eficiência da biomassa microbiana do solo, ou seja, a biomassa mais eficiente seria aquela que perde menos C na forma de CO<sub>2</sub> com a respiração e incorpora mais C aos tecidos microbianos. Por exemplo, para amostras que apresentam os mesmos valores de biomassa, aquela que obtiver uma menor taxa de respiração ( $<qCO_2$ ) é considerada mais eficiente (REIS JÚNIOR, MENDES, 2007).

Silva et al. (2007b) observaram em seus estudos maiores valores de  $qCO_2$  em sistema de plantio convencional em comparação com os valores encontrados em sistemas de plantio direto, corroborando os resultados encontrados por Alvarez et al. (1995) e Balota et al. (1998). Anderson e Domsch (1993) relatam que, em sistemas de plantio convencional, o revolvimento do solo provoca perturbações, desencadeando estresses na população microbiana: uma vez que a adição de carbono nesses sistemas é menor, os microrganismos terminam por consumir o carbono orgânico do solo, causando sua redução. Nesse contexto, maiores valores de  $qCO_2$  correspondem ao consumo do carbono oxidável pela população microbiana para a sua manutenção.

O quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) é um índice utilizado para medir a qualidade da matéria orgânica, expresso pela relação entre o C-BMS e o COT. Variações no pH, contaminação do solo por metais pesados e deficiências nutricionais promovem condições de estresse aos microrganismos, reduzindo a capacidade de utilização do C e, conseqüentemente, reduzindo também os valores de  $q_{Mic}$  (WARDLE, 1994).

## **2.4 Estoque de C no solo sob diferentes manejos**

De acordo com Urquiaga (2005), o solo é considerado a terceira maior reserva de C do planeta. Dessa forma, a agricultura, principal atividade relacionada ao uso do solo, desempenha um importante papel para recuperação e/ou aumento dos estoques de carbono no solo, contribuindo para redução da emissão de  $CO_2$  para atmosfera. Assim, como a principal via de ingresso do C derivado do  $CO_2$  da atmosfera para o solo é a fotossíntese vegetal, os resíduos dos vegetais das culturas são a principal fonte de C orgânico no solo. Deve-se ressaltar que diversos estudos têm indicado que o fator determinante no estoque de C orgânico no solo está relacionado ao manejo utilizado (preparo do solo e rotação de culturas).

A emissão basal de C- $CO_2$  será diferente em sistemas de manejo que apresentem distintas adições de resíduos vegetais e estoques de C no solo. Nesse sentido, o uso isolado das emissões de C- $CO_2$  não é um indicador adequado do potencial de sistemas de manejo para determinar o estoque de C no solo, devendo-se considerar para isso as emissões de C- $CO_2$  por unidade de C orgânico na MOS e em resíduos vegetais. Portanto, o sistema de manejo que apresentar menor emissão de C- $CO_2$  por unidade de C na MOS e em resíduos vegetais terá maior o potencial de conservação de C no solo em comparação com os sistemas de maior emissão de C- $CO_2$  por unidade de C na MOS (COSTA et al., 2008).

A entrada de C orgânico no solo por meio dos resíduos de colheitas depende das condições nutricionais, umidade e manejo em que foi desenvolvida a cultura, afetando a biomassa vegetal, sendo o nitrogênio o nutriente mais influente. Assim, com o uso de leguminosas, como adubos

verdes, abre-se a possibilidade de aumentar o conteúdo de C orgânico no solo por dois meios: o primeiro, de forma direta, sendo uma fonte de matéria orgânica, e o segundo, aumentando a disponibilidade de N do sistema o qual favorece a produção vegetal e os resíduos de colheitas. Por isso, em qualquer sistema de produção agrícola onde balanço de N seja positivo, indiretamente estará se promovendo a mineralização da MOS, o que resultará também em perdas de C orgânico na forma de  $\text{CO}_2$ , tudo isso afetado pelo sistema de preparo do solo (URQUIAGA et al., 2005).

Costa et al. (2008) avaliaram o potencial de sistemas de preparo de solo e de culturas na conservação de C em um Argissolo Vermelho e relatam que o sistema de plantio direto associado ao maior aporte de resíduos vegetais ricos em C e N apresenta maior potencial de conservação de C no solo. Em contrapartida, o solo submetido ao preparo convencional, independente do sistema de cultura, e o solo em plantio direto associado a sistemas de culturas com baixo aporte de resíduos vegetais apresentam balanço negativo de C. Segundo Amado et al. (2001), o plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura demonstra potencial para recuperar o teor de MO e, conseqüentemente, sequestrar carbono no solo e contribuir para mitigar o efeito estufa.

De acordo com Moreira e Siqueira (2006), solos sob plantio direto podem sequestrar em torno de 40% mais C do que aqueles sob cultivo convencional, representando uma alternativa para redução do  $\text{CO}_2$  emitido para a atmosfera, tornando o cultivo agrícola mais conservacionista. Dessa forma, esses autores recomendam, para sequestro de C pelo solo, a adoção de práticas de manejo tais como: manter os restos culturais do solo sobre a superfície como cobertura morta, evitar o revolvimento do solo, conservando-o com cultivo mecânico reduzido ao mínimo, manter o solo sempre coberto por vegetação com abundante sistema radicular e a máxima diversidade possível, praticar rotação de culturas, já que pousios e rotação no uso de agroquímicos irão ampliar a diversidade biológica no agrossistema, adotar práticas de manejo integrado para maximizar o uso de recursos e, assim, minimizar a aplicação de insumos químicos, promover a integração de

sistemas de produção agrossilvipastoril e propiciar ações para recuperação de solos degradados ou marginais.

## CAPÍTULO 2 – ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO NO CULTIVO IRRIGADO DA CANA-DE-AÇÚCAR

### RESUMO

Recentemente, áreas representativas de cultivo de cana-de-açúcar foram implantadas na região Norte do Estado de Minas Gerais, com a finalidade de produção de etanol. A mudança do uso da terra pode alterar o carbono orgânico total e os bioindicadores utilizados para avaliar a qualidade dos solos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque de C e N, a biomassa microbiana e a respiração basal do solo em áreas de cultivo irrigado de cana-de-açúcar e na vegetação nativa adjacente. Os sistemas avaliados foram: Cana 6, Cana 7, Cana 8, Cana 10 e Vegetação Nativa (VN), onde os números representam os anos de cultivo com cana-de-açúcar. Foram coletadas três amostras compostas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade em cada área de estudo. As amostras foram processadas e analisadas quanto ao estoque de C e N e quanto às seguintes propriedades biológicas: C da biomassa microbiana do solo (C-BMS); respiração basal do solo (RBS); quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano ( $qMIC$ ). O sistema Cana 8 apresentou os maiores valores de C-BMS e os menores de  $qCO_2$ , enquanto que os maiores valores de respiração basal e estoque de C e N foram observados na área sob VN. Esses resultados podem ser atribuídos à deposição constante de serapilheira e à atividade biológica na VN. A implementação e a renovação de canaviais irrigados afetam a funcionalidade dos processos biológicos do solo. No entanto, a manutenção da palhada na superfície do solo, ao longo tempo, contribui para a eficiência de utilização de carbono orgânico pelos microrganismos do solo e para aumentar os estoques de carbono e de nitrogênio do solo em níveis semelhantes aos encontrados em áreas de vegetação nativa.

**Palavras-Chave:** Biomassa microbiana do solo, respiração basal, quociente metabólico, estoque de C e N.

## CHAPTER 2 – MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES AND CARBON AND NITROGEN STOCK IN SOIL CULTIVATED WITH SUGARCANE IRRIGATED

### ABSTRACT

Recently, large areas for sugarcane cultivation were implemented in the North of Minas Gerais, with aim at ethanol production. The change in land use can affect the total organic carbon and the bioindicators used in the assessment of soil quality. Thus, the objective of this study was to evaluate C and N stocks, microbial biomass, basal soil respiration in irrigated sugarcane cultivation areas and in adjacent native vegetation. The cultivation systems assessed were: Cana 6, Cana 7, Cana 8, Cana 10 – where the numbers represent the years of sugarcane cultivation –, as well as a native vegetation (NV) area. Three composite samples of the soil were collected at 0-10, 10-20 and 20-30 cm deep in each study area. The samples were processed and analyzed for C and N stocks and the following biological properties: soil microbial biomass carbon (MBC); soil basal respiration (SBR); metabolic quotient ( $qCO_2$ ) and microbial quotient ( $qMIC$ ). The Cana 8 system showed the highest values for MBC and the lowest values for  $qCO_2$ , while the highest values for basal respiration and C and N stocks were observed in the NV. The implementation and renewal of irrigated sugarcane fields affect the functionality of soil biological processes. However, the maintenance of the sugarcane trash on the soil surface for long time contributed to the organic carbon use efficiency by soil microorganisms and to increase soil carbon and nitrogen stocks at levels similar to those found in areas of native vegetation.

**Keywords:** Soil microbial biomass, soil basal respiration, metabolic quotient, C and N stocks.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso do fogo em canaviais facilita a colheita manual, porém reduz o aporte de resíduos vegetais, favorece a oxidação da matéria orgânica do solo (MOS) e aumenta a susceptibilidade do solo à ocorrência de processos erosivos, resultando na redução do estoque de carbono orgânico armazenado ao longo do tempo (CANELLAS et al., 2003).

A adoção da colheita mecanizada em substituição à colheita com queima prévia do canavial, com a deposição de palhada sobre o solo, promove melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como o aumento da sua fertilidade e da qualidade da MOS (CANELLAS et al., 2003).

Para Campos (2003), a deposição média anual de palhada proveniente da cana é  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ , podendo formar uma camada de 10 a 12 cm de espessura. Hassuani et al. (2005) encontraram valor próximo, apresentando média de produção de palhada de três cultivares de cana do primeiro, segundo e terceiro estágio de corte de  $14,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ . De acordo com esses autores, a quantidade de palhada produzida depende de alguns fatores, como estágio da cultura e também a eficiência da colhedora.

A manutenção da palhada sobre o solo cria condições para o estabelecimento de um microclima, diminuindo as oscilações de extremos de temperatura e umidade, favorecendo a atividade dos microrganismos, que atuam na ciclagem de nutrientes (CAMPOS, 2003).

Para avaliar a dinâmica da MOS e a sustentabilidade do manejo adotado, são utilizados atributos muito sensíveis às mudanças ocorridas no solo, como biomassa microbiana, atividade microbiana e o carbono orgânico do solo (SOUZA et al., 2006).

Dessa forma, vários autores utilizam os teores e os estoques de C e N como indicadores de qualidade do solo, a fim de identificar as alterações causadas pela manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo na cultura da cana-de-açúcar (PAREDES JÚNIOR, 2012; LUCA et al., 2008; EVANGELISTA et al., 2013; SIGNOR et al., 2014), assim como as alterações da substituição da vegetação nativa por monocultivos.

O processo de decomposição da palhada promove aumento no teor e no estoque de MOS, tanto em solos argilosos quanto em solos arenosos, que passam a funcionar como dreno de C e N atmosféricos (LUCA et al., 2008).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os atributos microbiológicos e os estoques de C e N do solo em áreas de cronossequência de cana-de-açúcar irrigada, comparando-as com a vegetação nativa, localizadas no município de Jaíba, Norte do Estado de Minas Gerais.

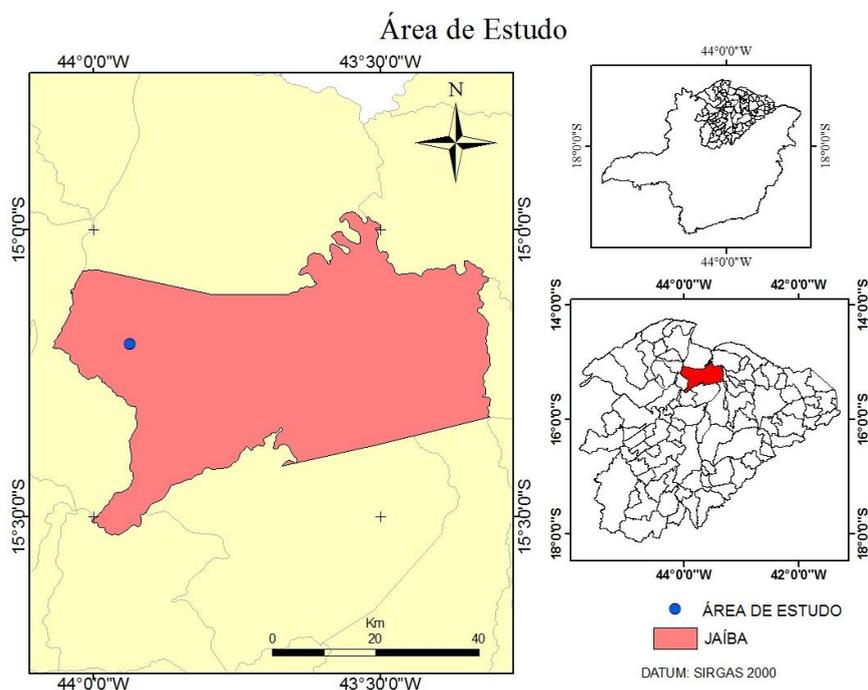
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área de cultivo de cana-de-açúcar, irrigada pelo sistema de pivô central, do perímetro irrigado do Projeto Jaíba, município de Jaíba, região Norte do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 15° 11' 58,29" S de latitude e 43° 56' 16,83" W de longitude.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw (Tropical de inverno seco e verão seco), com temperatura média anual de 28 °C e precipitação pluvial média de 750 mm anuais, concentrada nos meses de novembro a janeiro (EMBRAPA, 1979).

O solo das áreas de estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, originado de material argilo-arenoso do Terciário/Quaternário recobrimo rochas do Grupo Bambuí (EMBRAPA, 1979). De acordo com Scolforo et al. (2008), a vegetação da área de estudo é classificada como Floresta Estacional Decidual. Na FIG. 1 está representada a área de estudo e sua localização geográfica.

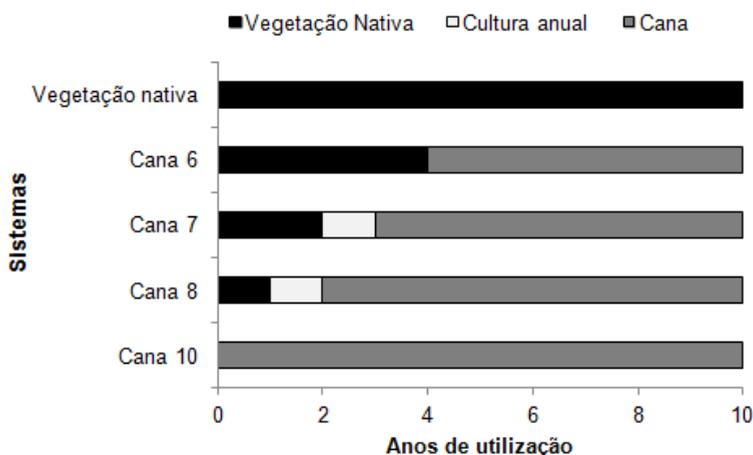
**FIGURA 1** - Localização das áreas de cultivo irrigado de cana-de-açúcar situadas no Norte de Minas Gerais.



Fonte: Da autora, 2015.

De acordo com o histórico da área, foram selecionadas quatro áreas de cultivo de cana-de-açúcar, numa cronossequência, contendo áreas com seis, sete, oito e dez anos de cultivo. Em adição foi selecionada ainda uma área sob vegetação nativa, caracterizada pela transição de cerrado para caatinga, adjacente aos cultivos de cana-de-açúcar, para representar a condição natural do solo. O histórico de utilização do solo dos últimos 10 anos da área estudada está representado na FIG. 2.

A colheita da cana-de-açúcar é feita mecanicamente e as quantidades de palhada depositadas nos sistemas são diferentes, pois a maior parte é utilizada pela usina para cogeração de energia, abastecendo as caldeiras.

**FIGURA 2** - Histórico de utilização da área de estudo.

Nota: VN: área de vegetação nativa; Cana 6 (6 anos de cultivo); Cana 7 (7 anos de cultivo); Cana 8 (8 anos de cultivo); Cana 10 (10 anos de cultivo).

Fonte: Da autora, 2015.

O sistema Cana 6 foi implantado no ano de 2009, logo após a retirada da vegetação nativa, e a última colheita foi realizada no mês de novembro de 2013, deixando-se aproximadamente 20% da palhada sobre a superfície do solo. A cultivar de cana-de-açúcar era a RB867515.

A área do sistema Cana 7 foi desmatada em 2006 e cultivada com feijoeiro, sendo que, em 2007, foi implantada a cana-de-açúcar, que foi reformada em 2013, utilizando a cultivar RB867515. Na época da coleta das amostras do presente estudo, ainda não havia sido realizado o primeiro corte do segundo cultivo da cana-de-açúcar nessa área.

A área do sistema Cana 8 foi desmatada em 2006 e cultivado o pimentão. Em seguida, nesse mesmo ano, foi implantado o canavial, que foi reformado em 2011, utilizando a cultivar SP801816. A colheita foi realizada em setembro de 2013, deixando-se 50% da palhada sobre o solo, aproximadamente.

O sistema Cana 10 foi implantado em 2005, imediatamente após o desmatamento da vegetação nativa. A reforma do canavial ocorreu em 2012,

e a cultivar utilizada foi a SP801842. A última colheita aconteceu em agosto de 2013, deixando-se aproximadamente 20% da palhada sobre a superfície do solo.

A irrigação é realizada pelo sistema de pivô central. A água é captada nos canais do Distrito de Irrigação de Jaíba (DIJ), a partir do rio São Francisco. A irrigação geralmente é feita durante pelo menos 10 meses por ano, e a taxa média aplicada varia de 800-1000 mm de água distribuídos regularmente nos meses de fevereiro a novembro.

Em todos os cultivos de cana-de-açúcar foi utilizado o preparo convencional do solo, com arações, gradagens e correção da acidez pela utilização de calcários, de acordo com os resultados da análise de solo, para elevar a saturação por bases a 60%. Em cada novo plantio de cana-de-açúcar aplicaram-se, no fundo do sulco, 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em função da baixa disponibilidade natural de fósforo dos solos. As fontes de fósforo foram sempre fertilizantes formulados NPK, variando, ao longo dos anos, a proporção de N e K das fórmulas utilizadas. As complementações de adubação com nitrogênio e potássio foram feitas via fertirrigação, de modo a aplicar em média, dependendo do desenvolvimento das plantas, 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente. Após o corte, na adubação da soqueira, aplicavam-se 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, 25 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, utilizando o adubo formulado NPK 20-05-20.

A coleta das amostras de solo para a caracterização química e física e análises biológicas foi realizada em janeiro de 2014. Em cada área e profundidade foram coletadas três amostras compostas, provenientes de seis amostras simples. Cada amostra composta foi constituída pela mistura de solo coletada na linha e na entrelinha de plantio, localizadas num mesmo ponto de amostragem. Para a coleta das amostras, foram abertas seis minitrincheiras, sendo uma na linha e outra na entrelinha de plantio. Em cada minitrincheira foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm para caracterização física (TAB. 1) e química (TAB. 2), análises biológicas e determinação dos teores totais de C e N. Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos,

levadas ao Laboratório de Análise de Resíduos do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG e armazenadas a 4 °C em geladeira até o momento das análises.

**TABELA 1** – Teores de areia, silte, argila e densidade do solo em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar e vegetação nativa.

Sistemas*	Prof.	Areia	Silte	Argila	Densidade
	cm	-----dag kg <sup>-1</sup> -----			kg dm <sup>-3</sup>
<b>Cana 6</b>	0-10	78	10	12	1,37
	10-20	80	8	12	1,24
	20-30	70	12	18	1,35
<b>Cana 7</b>	0-10	82	10	8	1,33
	10-20	86	8	6	1,30
	20-30	86	6	8	1,26
<b>Cana 8</b>	0-10	78	10	12	1,26
	10-20	78	8	14	1,08
	20-30	72	8	20	1,14
<b>Cana 10</b>	0-10	86	8	6	1,37
	10-20	86	8	6	1,27
	20-30	84	8	8	1,35
<b>VN</b>	0-10	72	12	16	1,10
	10-20	70	10	20	1,05
	20-30	66	10	24	1,19

\*Cana 6: 6 anos de cultivo; Cana 7: 7 anos de cultivo; Cana 8: 8 anos de cultivo; Cana 10: 10 anos de cultivo; VN: área de vegetação nativa.

Fonte: Da autora, 2015

**TABELA 2** – Caracterização química do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar e vegetação nativa.

(Continua)

Sistemas	Prof. cm	pH H <sub>2</sub> O	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
			P	K	S	Ca	Mg	Al
<b>Cana 6</b>	0-10	6,5	13,3	89,0	8,8	2,3	1,0	0
	10-20	6,3	4,5	39,0	7,9	1,9	0,8	0
	20-30	6,2	4,7	30,0	7,1	1,9	0,9	0
<b>Cana 7</b>	0-10	7,2	42,6	43,0	8,3	2,9	1,2	0
	10-20	7,0	14,1	48,0	4,5	1,9	0,9	0
	20-30	6,7	18,3	26,0	4,6	1,5	0,7	0
<b>Cana 8</b>	0-10	5,4	17,6	88,0	11,4	2,2	1,2	0
	10-20	5,5	16,0	56,0	9,5	2,2	1,0	0
	20-30	5,0	24,6	58,0	9,2	1,7	0,7	0,1
<b>Cana 10</b>	0-10	7,6	100,1	102,0	9,7	5,1	1,2	0
	10-20	7,2	22,1	57,0	9,4	3,0	1,3	0
	20-30	6,9	25,4	65,0	6,2	2,3	1,0	0
<b>VN</b>	0-10	5,5	2,6 d	61,0	14,5	1,8	0,5	0,1
	10-20	5,1	1,2	54,0	12,3	1,1 bA	0,2	0,6
	20-30	4,8	2,8	48,0	5,7	0,9 bA	0,2	1,1

**TABELA 2** – Caracterização química do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar e vegetação nativa.

Sistemas	Prof. cm	H+Al	SB	t				(Conclusão)
					T	m	V	MOS
		-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	%	-----	g kg <sup>-1</sup>
<b>Cana 6</b>	0-10	1,4	3,7	3,7	5,1	0	73,0	13,22
	10-20	1,4	2,8	2,8	4,2	0	67,0	12,91
	20-30	1,4	3,0	3,0	4,4	0	69,0	10,88
<b>Cana 7</b>	0-10	0,8	4,3	4,3	5,2	0	84,0	12,46
	10-20	0,8	3,0	3,0	3,8	0	78,0	9,84
	20-30	1,0	2,4	2,4	3,4	0	70,0	8,38
<b>Cana 8</b>	0-10	2,1	3,7	3,7	5,9	0	64,0	15,84
	10-20	2,1	3,5	3,5	5,6	0	62,0	17,48
	20-30	2,4	2,6	2,7	5,0	4,0	52,0	14,52
<b>Cana 10</b>	0-10	0,8	6,7	6,7	7,5	0	89,0	15,55
	10-20	0,9	4,6	4,6	5,6	0	83,0	16,62
	20-30	1,0	3,5	3,5	4,6	0	77,0	9,88
<b>VN</b>	0-10	3,2	2,8	2,9	6,0	3,0	47,0	23,45
	10-20	3,2	1,6	2,2	4,7	28,0	33,0	17,53
	20-30	3,5	1,3	2,4	4,8	46,0	27,0	11,59

Nota: Cana 6: 6 anos de cultivo; Cana 7: 7 anos de cultivo; Cana 8: 8 anos de cultivo; Cana 10: 10 anos de cultivo; VN: área de vegetação nativa.

Fonte: Da autora, 2015.

Para a caracterização química e física dos solos, utilizou-se a metodologia proposta por Embrapa (1997). De acordo com essa metodologia, o pH foi determinado em água, o Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1 mol/L, o P e K extraídos pelo Mehlich 1 (HCl 0,05 mol/L + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol/L) e a acidez potencial (H+Al) determinada pelo método do acetato de cálcio. A textura foi determinada pelo método da pipeta, e a densidade, pelo método do anel volumétrico.

O preparo das amostras para as análises biológicas consistiu na tamisagem em peneiras com abertura de malha de 2 mm, retirada de fragmentos vegetais e animais por meio da catação, determinação da umidade e sua correção para 60% da capacidade de campo, sendo que todas as amostras foram analisadas em duplicatas.

O C da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi estimado pelo método da irradiação-extração, de acordo com Ferreira et al. (1999), Vance et al. (1987) e Silva et al. (2007a), usando 15 g de solo, sendo que as amostras fumigadas foram submetidas a irradiação no forno micro-ondas durante dois minutos, seguidas de extração com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5 mol L<sup>-1</sup>), tanto as amostras fumigadas quanto as não fumigadas, agitação a 180 rpm por 30 minutos e mantidas em repouso por 24 horas. Transcorrido esse tempo, para quantificar o C presente na BMS, utilizou-se uma alíquota da amostra, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (0,066 mol L<sup>-1</sup>) para oxidação, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (P.A), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (P.A), água deionizada e titulação com sulfato ferroso amoniacal [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O] (0,033 mol L<sup>-1</sup>) na presença do indicador difenilamina. O fator de correção Kc utilizado nos cálculos foi 0,33.

A atividade microbiana foi estimada pela determinação da respiração basal (C-CO<sub>2</sub>), em amostras de 100 g de solo, obtida pela incubação das amostras em NaOH (0,5 mol L<sup>-1</sup>) com captura do CO<sub>2</sub>, durante vinte e cinco dias, proposto por Jenkinson e Powelson (1976) e adaptada por Silva et al. (2007a). O C-CO<sub>2</sub> emanado das amostras foi analisado no intervalo de 24, 48, 48, 48, 48, 72, 72, 120, 120 horas após a incubação das amostras, totalizando nove avaliações. A cada avaliação era substituído o recipiente contendo a solução de NaOH por outro com 20 mL da mesma solução. O carbono liberado na forma de CO<sub>2</sub> foi quantificado pela adição de BaCl<sub>2</sub> (0,5

mol L<sup>-1</sup>) às amostras com NaOH para precipitação do CO<sub>2</sub> na forma de carbonato, seguida da titulação com solução padronizada de HCl (0,25 mol L<sup>-1</sup>) na presença do indicador fenolftaleína.

Após a realização das análises de C-BMS e C-CO<sub>2</sub>, foram determinados o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), obtido pela razão entre C-CO<sub>2</sub> e C-BMS, conforme Anderson e Domsch (1993), e o quociente microbiano (qMIC) pela relação entre C-BMS e C-orgânico total (SPARLING, 1997).

A determinação dos teores de carbono orgânico total (COT) e do N total foram realizados em duplicatas e em todas as profundidades. As amostras foram secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneiras de 2 mm, posteriormente moídas manualmente e passadas em peneira com abertura de 0,150 mm, e analisadas por combustão seca em analisador elementar LECO CN-2000, no laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA-USP).

Os estoques de C e N foram calculados multiplicando-se os teores totais de cada elemento pela densidade aparente e espessura de cada camada amostrada. Para comparação entre as massas iguais de solo, foram feitas correções pela massa de solo equivalente (ELLERT e BETTANY, 1995), utilizando como referência a densidade de solo da vegetação nativa. O ajuste foi realizado na camada mais profunda, que consiste em encontrar novo valor de profundidade que represente a mesma massa de solo em todas as áreas em que foi usado para os cálculos dos estoques de C corrigidos (SIGNOR et al., 2014). A relação C/N foi calculada a partir da relação entre os valores de teores de C e N.

Para cada variável foi calculada a média e o intervalo de confiança pelo teste de t de Student a 5% de probabilidade.

Considerando-se a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre os manejos na tentativa de agrupá-los usando-se os atributos físicos, químicos e microbiológicos. Foi realizada a análise de agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros, e o método de Ward, como estratégia de agrupamento. O objetivo dessa análise foi classificar as áreas de estudo a fim de verificar se

as práticas de manejo e anos de cultivo de cana-de-açúcar têm contribuído para a manutenção dos atributos microbiológicos, físicos e químicos do solo em comparação ao solo da área de vegetação nativa.

O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma), que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos ambientes com as variáveis analisadas. As variáveis utilizadas para essa análise foram: carbono na biomassa microbiana, respiração basal do solo, teores de carbono total, nitrogênio total, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio disponíveis, areia, argila, densidade do solo e porosidade total – da camada de 0 a 10 cm de profundidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram verificados, na área de vegetação nativa em comparação à áreas cultivadas, maiores teores de C e N, dois dos elementos mais dinâmicos e afetados pelo manejo do solo (TAB.3). Em relação ao C total, os teores variaram de 5,73 a 13,60 g kg<sup>-1</sup> e foram significativamente superiores no sistema sob vegetação nativa, na profundidade de 0-10 cm, quando comparados aos demais sistemas estudados. Souza et al. (2006) e Hickmann e Costa (2012) também encontraram maiores teores de C em áreas de vegetação nativa em comparação à pastagem, ao plantio direto e ao convencional. Alguns autores atribuem esses resultados ao maior aporte de resíduos e às menores taxas de mineralização em áreas de vegetação nativa, comparativamente àquelas antropizadas (USSIRI e LAL, 2009 apud LEITE, et al., 2013). Para Costa et al. (2008), os menores teores e estoque de C no cultivo convencional estão associados à incorporação dos resíduos ao solo na camada arável durante o preparo, promovendo maior aeração, aumento da temperatura na camada revolvida, ruptura dos agregados e consequente exposição da MOS à ação de microrganismos.

**TABELA 3** – Teores de C, N e relação C/N em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar.

Prof. (cm)	Teor de COT (g kg <sup>-1</sup> )				
	Cana 6**	Cana 7	Cana 8	Cana 10	VN
0-10	7,67 bcA*	7,23 cA	9,19 bA	9,02 bA	13,60 aA
10-20	7,49 bA	5,71 bB	10,14 aA	9,64 abA	10,17 aA
2030	6,31 bA	4,86 cB	8,42 aA	5,73 bB	6,72 abB
Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )					
0-10	0,34 bA	0,40 bA	0,45 bA	0,42 bAB	1,08 aA
10-20	0,42 bA	0,43 bA	0,40 bA	0,54 bA	0,86 aB
2030	0,24 bA	0,45 aA	0,39 abA	0,29 bB	0,55 aB
Relação C/N					
0-10	23,26 aA	18,33 aA	21,77 aA	26,86 aA	12,71 aA
10-20	21,50 aA	14,70 abAB	27,38 aA	18,53 abA	11,90 bA
2030	29,40 aA	11,00 bB	22,56 aA	19,83 aA	12,87 bA

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

\*\*Cana 6: 6 anos de cultivo; Cana 7: 7 anos de cultivo; Cana 8: 8 anos de cultivo; Cana 10: 10 anos de cultivo; VN: área de vegetação nativa.

Fonte: Da autora, 2015.

Os teores de N variaram de 0,24 a 1,08 Mg ha<sup>-1</sup> (TAB. 3). A área sob VN na profundidade de 0-10 e 10-20 cm foi significativamente superior em relação aos sistemas estudados. Áreas de vegetação nativa também apresentaram maiores teores de N no estudo de Leite et al. (2013), que avaliaram a qualidade química e os compartimentos de C do solo em monocultivos, sistemas consorciados e pastagem no cerrado maranhense.

Não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas e as profundidades avaliados quanto à relação C/N (TAB. 3). Na área sob vegetação nativa, a relação C/N foi menor do que 20 em todas as profundidades avaliadas. Esse resultado indica a presença de matéria orgânica muito ativa no solo, predominando o processo de mineralização em relação à imobilização e consequente aumento da disponibilidade de

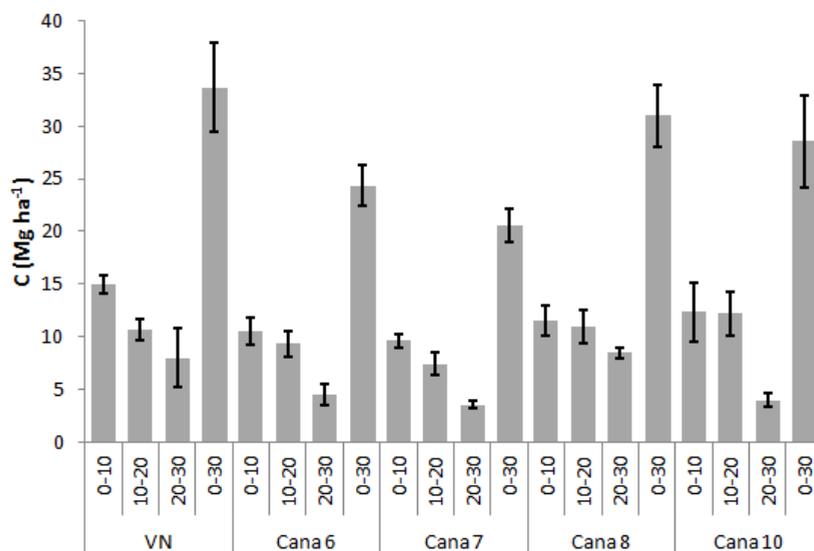
nutrientes para as plantas (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006). O sistema Cana 7 também apresentou relação C/N menor do que 20, em consequência da redução dos teores de C, além de não ter, como já foi descrito anteriormente, realizada a colheita do segundo plantio para deposição de palhada no solo. Ao contrário do C, o N pode ter aumentado em consequência da atividade microbiana e da rápida decomposição da matéria orgânica, favorecendo o processo de mineralização promovido pelo revolvimento do solo durante a reforma do canavial.

Nos sistemas Cana 6 e Cana 8, a relação C/N ficou entre 20-30 (TAB. 3). Esses maiores valores, de acordo com Villatoro (2004), expressam um tempo maior de permanência do material orgânico no solo, devido à manutenção da palhada.

Foi observada no sistema Cana 10 uma relação C/N maior do que 20 na camada de 0-10 cm (TAB. 3), diminuindo à medida que aumentou a profundidade. Luca et al. (2008) encontraram relação C/N entre 19,4 e 29,1 em solos arenosos cultivados com cana-de-açúcar.

Com a multiplicação dos teores de C e N totais pela densidade aparente e espessura de cada camada amostrada, obtiveram-se os respectivos estoques de cada elemento no solo. Quanto ao estoque de C, não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas (GRAF. 1). Por outro lado, independentemente do sistema, houve uma tendência de redução dos estoques de C em função da profundidade em todos os sistemas e aumento do estoque de C na camada superficial em relação ao tempo de utilização da área com o cultivo de cana-de-açúcar irrigada, exceto no sistema Cana 7.

**GRÁFICO 1** – Estoque de C em áreas de cronossequência de cana-de-açúcar.



Nota: Cana 6: 6 anos de cultivo; Cana 7: 7 anos de cultivo; Cana 8: 8 anos de cultivo; Cana 10: 10 anos de cultivo; VN: área de vegetação nativa.

Fonte: Da autora, 2015.

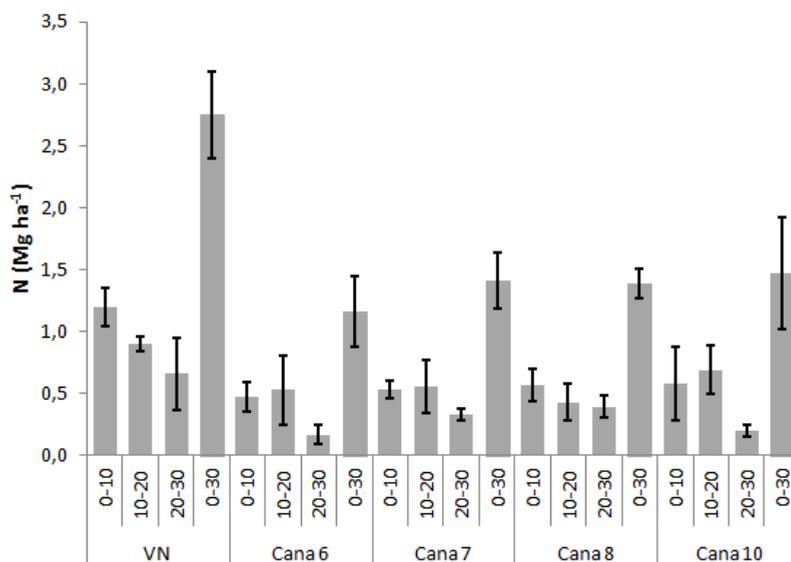
Os sistemas Cana 10 e Cana 8 apresentaram os maiores valores de estoque de C em relação aos demais sistemas com cana-de-açúcar (GRAF. 1). Isso indica que a manutenção da palhada sobre o solo, ao longo do tempo, aumenta o potencial do solo em estocar C, o que pode ser comprovado pelo aumento gradativo dos estoques de C desde o sistema Cana 6 até o sistema Cana 10, na profundidade de 0-20 cm. Esses resultados, encontrados nos sistemas com maior tempo de utilização da área, foram os que mais se aproximaram dos valores encontrados por Luca et al. (2008), que avaliaram o estoque de C em solos arenosos sob cultivo de cana-de-açúcar sem queima da palhada. Esses autores encontraram valores de estoque de C de 13,3 e 12,3 t ha<sup>-1</sup> nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente.

Em relação aos estoques de C no sistema VN (GRAF. 1), os valores estão de acordo com os observados em áreas de vegetação nativa (STÜRMER et al., 2011; LEITE et al., 2013). Os menores valores de estoque de C nos sistemas agrícolas em comparação à VN estão relacionados, segundo Matias et al. (2009), ao manejo dos solos cultivados, que contribui para o aumento da oxidação do C.

Quanto ao estoque de N, verificou-se valor significativamente superior na camada superficial do solo (0 a 10 cm) em relação aos demais sistemas e profundidades avaliadas (GRAF. 2). D'Andréa et al. (2004) e Leite et al. (2013) também observaram maiores valores de estoque de N e C em áreas de cerrado nativo em comparação aos sistemas de plantio convencional e cultivos consorciados. De acordo com Leite et al. (2003), em sistemas agrícolas, a dinâmica da MOS é influenciada não só pelo manejo adotado, mas também pela adição de fertilizantes químicos e orgânicos que aceleram o processo de mineralização da MOS.

Por outro lado, Campos et al. (2013) encontraram, de modo geral, valores semelhantes de estoque de C e N em um solo sob plantio convencional e cerrado nativo. Contudo, esses autores encontraram maiores valores de estoque de C e N no solo sob plantio direto em relação ao solo sob cerrado nativo. De acordo com esses autores, os maiores estoques de C e N no sistema de plantio direto se devem ao maior acúmulo de matéria orgânica de maior estabilidade das frações húmicas, afirmando que o plantio direto pode ser uma estratégia para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

**GRÁFICO 2** – Estoque de N em áreas de cronossequência de cana-de-açúcar.



Nota: Cana 6: 6 anos de cultivo; Cana 7: 7 anos de cultivo; Cana 8: 8 anos de cultivo; Cana 10: 10 anos de cultivo; VN: área de vegetação nativa.

Fonte: Da autora, 2015.

De forma geral, os valores dos estoques de N nos sistemas com cana-de-açúcar foram semelhantes nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade (GRAF. 2). Na profundidade de 20-30 cm, nos sistemas Cana 6 e Cana 10, esse valores foram significativamente inferiores em relação aos demais sistemas, corroborando os menores resultados de teores de N observados nessas áreas.

O sistema Cana 10 apresentou resultados ligeiramente maiores nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (GRAF. 2), possivelmente atribuídos ao efeito do tempo após a última reforma do canal, à adição de fertilizantes e à recente deposição da palhada sobre o solo, realizados antes da amostragem do solo do presente estudo.

De acordo com Weber e Mielniczuk (2009), o acúmulo de N no solo ocorre lentamente. Dessa forma, para observar os impactos provocados por

práticas de manejo agrícolas sobre a disponibilidade de N no solo, são necessários estudos de longa duração.

De modo geral, ocorreram poucas diferenças significativas entre os diferentes cultivos de cana-de-açúcar e a vegetação nativa quanto aos atributos microbiológicos avaliados. Para o C-BMS, os maiores valores foram encontrados no sistema Cana 8, na camada superficial do solo 0-10 cm (TAB. 4). Marchiori Júnior e Melo (2000), estudando o carbono da biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo, também encontraram maiores valores de C-BMS em áreas com cana-de-açúcar em comparação à mata nativa, como observado no presente estudo, especificamente no sistema Cana 8. Entretanto, segundo esses autores, espera-se que os maiores valores de C-BMS estejam relacionados aos maiores teores de C total. No entanto, no presente trabalho, não foi verificada relação direta entre o C total e o C-BMS, uma vez que o sistema Cana 8, em relação à vegetação nativa, apresentou maiores valores de C-BMS e menores de C total. Nesse caso específico, pode-se inferir que, além do teor de carbono orgânico total, a qualidade da matéria orgânica influencia no C-BMS. Corroborando os resultados do presente estudo, Wardle (1992) relata que os valores de C microbiano nem sempre se relacionam com o C orgânico do solo.

Alguns autores citam que o aumento da biomassa microbiana do solo em áreas cultivadas, em relação ao sistema sob vegetação nativa, pode estar relacionado ao manejo dos cultivos agrícolas, como a correção da acidez do solo e a adição de adubos minerais, que aumenta a disponibilidade de nutrientes para o crescimento da população de microrganismos (CATTELAN e VIDOR, 1990). Citam também as características intrínsecas à cultura, como no caso da cana-de-açúcar, que é uma gramínea com metabolismo C<sub>4</sub>, raízes finas e fasciculadas, capazes de exsudar compostos orgânicos de baixa massa molecular e relação C/N, além de proporcionarem um ambiente rizosférico rico em compostos orgânicos novos (frescos) de fácil mineralização (SEGATO et al., 2006).

**TABELA 4** – C-BMS, RBS,  $qCO_2$  e  $C_{mic}:C_{total}$  (%) em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar.

Sistemas**	C-BMS (mg C microbiano $k^{-1}$ )		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Cana 6	103,46 bA*	102,95 abA	83,26 aA
Cana 7	35,71 cB	102,61 abA	80,57 cA
Cana 8	218,95 aA	181,11 aA	195,29 aA
Cana 10	124,75 bA	94,81 bA	80,59 bA
VN	148,84 bA	180,82 aA	136,36 abA
RBS (mg C-CO <sub>2</sub> $k^{-1}$ solo hora <sup>-1</sup> )			
Cana 6	0,06 abA	0,07 aA	0,08 aA
Cana 7	0,05 bA	0,03 aA	0,06 aA
Cana 8	0,04 bB	0,07 aA	0,03 aB
Cana 10	0,08 aA	0,08 aA	0,07 aA
VN	0,09 aA	0,10 aA	0,05 aA
$qCO_2$ (mg C-CO <sub>2</sub> $g^{-1}$ C-BMS.h <sup>-1</sup> )			
Cana 6	0,48 bA	0,74 abA	0,92 aA
Cana 7	1,81 aA	0,39 bB	0,76 abAB
Cana 8	0,18 cAB	0,36 bA	0,14 bB
Cana 10	0,70 bA	0,89 aA	1,03 aA
VN	0,56 bA	0,47 bA	0,38 abA
$C_{mic}:C_{total}$ (%)			
Cana (6)	1,37 bA	1,40 bA	1,39 aA
Cana (7)	0,50 cB	1,77 abA	1,69 aA
Cana (8)	2,30 aA	1,79 aA	2,30 aA
Cana (10)	1,33 bA	0,96 bA	1,46 aA
VN	1,11 bA	1,81 a	2,60 aA

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

\*\*Cana 6: 6 anos de cultivo; Cana 7: 7 anos de cultivo; Cana 8: 8 anos de cultivo; Cana 10: 10 anos de cultivo; VN: área de vegetação nativa.

Fonte: Da autora, 2015.

Os maiores valores de C-BMS no sistema Cana 8, em comparação ao sistema Cana 6, podem ser explicados pelo maior incremento de matéria orgânica no solo proporcionado pelo maior aporte de palhada mantida sobre este, o que pode ser constatado pelos maiores teores de COT no sistema Cana 8 (TAB. 4). No sistema Cana 6, foram preservados 20% da palhada na época da colheita, enquanto que, no sistema Cana 8, 50% da palhada foram mantidos sobre a superfície do solo. Paredes Júnior (2012), avaliando diferentes quantidades de palhada deixadas sobre a superfície do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, verificou que quanto maior a quantidade palhada deixada na área, maior é o aumento da biomassa microbiana ao longo do tempo.

Em relação aos sistemas Cana 7 e Cana 10, os menores valores de C-BMS em relação aos encontrados no sistema Cana 8 (TAB. 4) podem ser atribuídos ao tempo de reforma do canavial, que foi nos anos de 2012 e 2013, aproximadamente um e dois anos antes da amostragem de solo do presente estudo. No sistema Cana 8, a reforma ocorreu no ano de 2011. Dessa forma, é possível que as práticas de manejo, como aração, gradagem e calagem, realizadas na reforma dos canaviais favoreçam a mineralização da matéria orgânica do solo e, posteriormente, uma diminuição da biomassa microbiana, até que o aporte de resíduos orgânicos se reestabeleça.

Os menores valores de C-BMS no sistema Cana 7, em relação ao sistema Cana 10, podem ser atribuídos às condições limitantes específicas para o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo. Na época de coleta das amostras de solo para o presente estudo, no sistema Cana 7, ainda não se havia realizado o primeiro corte da cana-de-açúcar plantada no ano anterior, enquanto que, no sistema Cana 10, já se havia realizado o primeiro corte e mantidos 20% da palhada sobre a superfície do solo.

Além dos fatores discutidos acima, os menores teores de argila do sistema Cana 7 em relação aos demais sistemas podem contribuir para os resultados obtidos, embora, no presente estudo, não se tenham verificado correlações significativas entre o teor de argila e os atributos microbiológicos avaliados na camada de 0-10 cm de profundidade (TAB. 5).

**TABELA 5** – Análise de correlação de Pearson entre Carbono na biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal do solo (RBS), quociente microbiano ( $qCO_2$ ) e relação C-BMS e carbono total ( $C_{mic}:C_{total}$ ), Carbono orgânico total (COT) e argila em áreas de cronossequências de cana-de-açúcar, em amostras de solo coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade.

	C-BMS	RBS	$qCO_2$	$C_{mic}:C_{total}$	COT	Argila
C-BMS	-	0,11ns	-0,81**	0,92***	0,47ns	0,45ns
RBS	-	-	-0,28ns	-0,33ns	0,57ns	0,03ns
$qCO_2$	-	-	-	-0,77**	-	-
					0,45ns	0,44ns
$C_{mic}:C_{total}$	-	-	-	-	0,28ns	0,25ns
COT	-	-	-	-	-	0,71*

ns, \*\*\*, \*\* e \* = não significativo, significativo a 1, 5 e 10%, respectivamente, pelo teste de t.

Fonte: Da autora, 2015.

Para os sistemas Cana 6 e Cana 10, não houve diferenças significativas, em comparação à vegetação nativa, quanto ao C-BMS, indicando que esses sistemas de cultivos estão garantindo o funcionamento da atividade biológica do solo semelhantemente ao da vegetação nativa. Dessa forma, pode-se inferir que, nas condições do presente estudo, em cultivos de cana-de-açúcar em que se mantêm 20% da palhada sobre superfície do solo, na reforma do canavial, já na primeira colheita se consegue restabelecer a biomassa microbiana do solo.

Importante destacar que, nos últimos anos, a biomassa microbiana tem sido utilizada como um importante indicador de qualidade do solo, uma vez que essa biomassa é sensível às mudanças de uso da terra, por representar a parte viva e mais ativa da matéria orgânica. Nesse contexto, alterações significativas na biomassa microbiana podem ser percebidas muito antes que na matéria orgânica total, possibilitando a adoção de estratégias de manejo que garantam a qualidade do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

De modo geral, não houve diferenças significativas entre os sistemas quanto à respiração basal (TAB. 4). No entanto, é importante destacar que a respiração basal, em conjunto com o C-BMS, tem sido utilizada como indicador de qualidade do solo. D'Andréa et al. (2002) e Pôrto et al. (2009) verificaram que a respiração basal foi bastante sensível aos diferentes usos do solo e práticas de manejo. Segundo esses autores, a respiração basal representa o carbono prontamente mineralizável, sendo um indicativo da atividade metabólica dos microrganismos, fortemente influenciada pelo manejo do solo. No presente estudo, a RBS não se correlacionou com os demais atributos microbiológicos avaliados (TAB. 4).

Os maiores valores de respiração basal do solo no sistema vegetação nativa podem ser atribuídos ao constante e diversificado aporte de serapilheira, que favorece a maior atividade biológica sobre esse material. Outros autores também verificaram maiores valores de respiração basal do solo em áreas de florestas nativas em comparação a áreas cultivadas, tanto com culturas anuais quanto perenes (FIALHO et al., 2006), em sistema convencional ou de plantio direto (CUNHA et al., 2012; SILVA et al., 2012). Segundo Islabão (2012), maiores valores de respiração basal do solo em áreas de vegetação nativa associados a maiores teores de C indicam constante deposição e mineralização de serapilheira, com acúmulo de matéria orgânica, que promove elevada biomassa microbiana e atividade biológica.

Por outro lado, outros autores encontraram menores valores de C-CO<sub>2</sub> em solos cultivados em relação à vegetação nativa (BALOTA et al., 1998; MATIAS et al., 2009 e SAMPAIO et al., 2008). Segundo esses autores, isso se explica pela maior estabilidade da matéria orgânica presente na vegetação nativa devido ao estado de equilíbrio do ecossistema.

De acordo com Roscoe et al. (2006), uma alta taxa de respiração basal pode ser desejável, uma vez que a decomposição da matéria orgânica disponibiliza nutrientes para as plantas. No entanto, como indicador da qualidade do solo, uma biomassa mais eficiente seria aquela que, durante a decomposição da matéria orgânica, perdesse menos C na forma de CO<sub>2</sub> pela respiração e incorporasse o C às suas células microbianas (REIS JÚNIOR e

MENDES, 2007). Dessa forma, Pôrto et al. (2009) recomendam cuidado ao interpretar os resultados de C-CO<sub>2</sub> emanado do solo, pois nem sempre indicam condições favoráveis, necessitando de outros indicadores para melhor compreensão sobre as práticas de manejo adotadas.

Quanto ao quociente metabólico ou respiratório ( $q\text{CO}_2$ ), os menores valores foram observados no sistema Cana 8 (TAB. 4), na camada superficial do solo. Por outro lado, os maiores valores de  $q\text{CO}_2$  foram observados no sistema Cana 7. O  $q\text{CO}_2$  é um índice estimado pela combinação entre C-BMS e a respiração basal, utilizado na quantificação da eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo para a biossíntese (DE-POLLI e PIMENTEL, 2005). Dessa forma, os resultados obtidos permitem inferir que no sistema Cana 7 havia uma pequena população microbiana com elevadas taxas de respiração. Esse resultado indica que as condições ambientais são desfavoráveis, e a biomassa microbiana gasta mais C para sua manutenção (SOUZA et al., 2006). No presente estudo, verificou-se correlação negativa entre o  $q\text{CO}_2$  e o C-BMS (TAB. 5).

Como discutido anteriormente, o sistema Cana 7 teve o canavial reformado um ano antes da coleta das amostras de solo para o presente estudo e, por ocasião da amostragem, ainda não havia sido realizada a primeira colheita da cana, portanto havia pouca matéria orgânica fresca para decomposição pelos microrganismos do solo. Nessas condições, os maiores valores de  $q\text{CO}_2$ , segundo Matias et al. (2009), indicam uma situação de estresse aos microrganismos, que passam a utilizar maiores proporções de C-BMS para a manutenção celular, com consequente perda de carbono da biomassa microbiana na forma de CO<sub>2</sub>. Dessa forma, práticas de manejo que causem estresse aos microrganismos podem elevar as taxas de respiração, expressas pelos maiores valores de  $q\text{CO}_2$ , que é um indicador sensível para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (DE-POLLI e PIMENTEL, 2005).

Por outro lado, no sistema Cana 8, que apresentou os menores valores de  $q\text{CO}_2$ , a biomassa microbiana está sendo mais eficiente no uso de C e menores são as perdas na forma de CO<sub>2</sub>. Por esses resultados, pode-se inferir que nesse sistema os microrganismos estão incorporando mais C às

suas células em comparação aos demais sistemas, incluindo-se a vegetação nativa. Essa maior incorporação, em relação aos demais sistemas agrícolas, pode ser consequência de uma melhor cobertura do solo, proveniente do grande aporte de palhada, e também do tempo de reforma do canavial.

A relação  $C_{mic}:C_{total}$  ( $qMIC$ ) apresentou valores significativamente superiores no sistema Cana 8 (TAB. 4), na profundidade de 0-10 cm, em relação aos demais sistemas e profundidades. A ocorrência de maiores valores de quociente microbiano significa que o C orgânico encontra-se mais facilmente acessível para a microbiota do solo (MATIAS et al., 2009). No presente estudo, houve correlação positiva entre o  $C_{mic}:C_{total}$  e o C-BMS, na camada de 0-10 cm de profundidade (TAB. 5), corroborando os resultados de Matias et al. (2009).

Dessa forma, o  $qMIC$  é um indicador de qualidade e/ou da disponibilidade da matéria orgânica lábil do solo para os microrganismos (REIS JÚNIOR e MENDES, 2007), que se encontra muito ativa e sujeita a transformações no solo (HART et al., 1989). De acordo com Paredes Júnior (2012), solos cuja matéria orgânica possui baixa qualidade nutricional limitam a atividade microbiana, provocando uma condição de estresse, tornando os microrganismos incapazes de utilizar totalmente o C orgânico.

Os maiores valores da relação  $C_{mic}:C_{total}$  no sistema Cana 8, em relação à vegetação nativa, indicam maior conversão de C orgânico em C microbiano nesse sistema e um possível aumento da disponibilidade de nutrientes pela biomassa microbiana, que apresenta rápido tempo de ciclagem no solo (XAVIER et al., 2005). No sistema Cana 8, há anualmente uma deposição de matéria orgânica fresca muito superior à que ocorre na VN, que provavelmente apresenta uma matéria orgânica mais estável.

Por outro lado, pode-se inferir que solos que exibem valores menores de  $qMIC$  podem expressar ocorrência de perda de C e uma redução da sua dinâmica no solo (MERCANTE, 2001; SAMPAIO et al., 2008), como observado na camada superficial do sistema Cana 7 (TAB. 4). Esses resultados estão coerentes com o discutido anteriormente para o  $qCO_2$ , que pode ser comprovado também pela correlação negativa entre  $C_{mic}:C_{total}$  e o  $qCO_2$  (TAB. 5).

Embora sem diferença significativa, todos os sistemas e profundidades, exceto o Cana 7 e o Cana 10 (TAB. 4), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade, respectivamente, apresentaram valores superiores a 1% de  $q_{MIC}$ , o que pode indicar possível acréscimo de C no solo ao longo do tempo. Jenkinson e Ladd (1981) relatam que, em condições normais, o  $q_{MIC}$  corresponde a uma taxa de 1 a 4% do C orgânico total. Segundo Silva et al. (2012), valores de  $q_{MIC}$  inferiores a 1% podem estar relacionados a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana, como observado no sistema Cana 7, que apresenta os menores teores de carbono orgânico total.

Nas condições do presente estudo, o sistema Cana 8 apresentou atributos microbiológicos semelhantes aos da vegetação nativa, ou seja, os valores dos indicadores de qualidade do solo foram mais favoráveis que nos demais sistemas de cultivo da cana-de-açúcar. Nesse sistema, Cana 8, foram verificados maiores valores de C-BMS e relação  $C_{mic}:C_{total}$  e menores de  $q_{CO_2}$ . Esses resultados indicam que os microrganismos do solo foram mais eficientes na utilização dos substratos orgânicos, incorporando mais C aos seus tecidos e liberando menos  $CO_2$  para a atmosfera.

Dessa forma, para reduzir o estresse causado aos microrganismos pela reforma do canavial, como verificado no sistema Cana 7, pode-se adotar a prática do plantio direto ou cultivo mínimo. Por outro lado, como verificado no sistema Cana 8, a manutenção de 50% da palhada sobre a superfície do solo na primeira colheita após a reforma do canavial, devido ao grande aporte de matéria orgânica, já é suficiente para atingir valores dos indicadores de qualidade do solo semelhantes ao da vegetação nativa.

As variáveis utilizadas para a análise de agrupamento possibilitaram a distinção das áreas estudadas quanto aos atributos físicos e químicos da camada de 0-10 cm de profundidade. Essa camada de solo é a que mais sofre alterações devido às práticas de manejo do canavial, como mecanização, correção da acidez e adubações e deposição de resíduos orgânicos. De acordo com o dendrograma da FIG. 3, observa-se variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre as áreas, para o conjunto de variáveis consideradas, sendo possível a divisão de grupos.

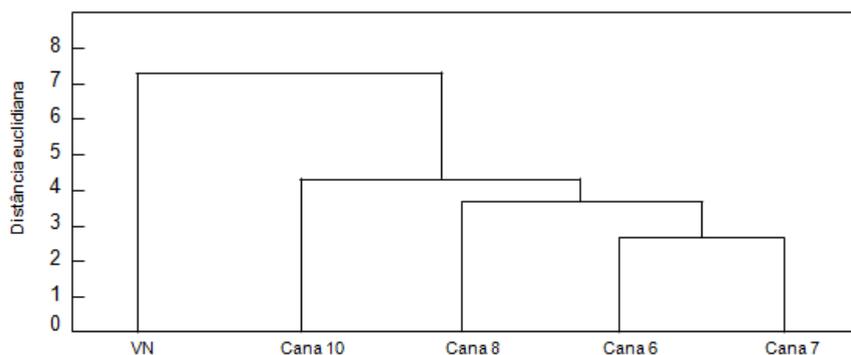
Admitindo-se cortes na distância euclidiana de 6 e 8, é possível ordenar os dados em três grupos, sendo um grupo constituído pela vegetação nativa, um grupo constituído pelo Cana 10 e o Cana 8 e um terceiro grupo constituído pelo Cana 7 e o Cana 6.

Os cortes são linhas horizontais traçadas no dendrograma, chamadas de Linha Fenon, que delimitam o número de grupos, a fim de diminuir o nível de distorção que o processo aglomerativo possa trazer. É função do pesquisador, com base no conhecimento sobre seu objeto de pesquisa, decidir o ponto onde será efetuado o “corte”.

Nos grupos formados por mais de uma área, é possível inferir que os solos dos mesmos apresentaram atributos químicos e físicos similares, em decorrência dos anos de cultivo e práticas de manejo, como discutido anteriormente. No caso do presente estudo, pode-se inferir que há similaridades entre os atributos dos solos das áreas de Cana 10 e de Cana 8 e entre os solos das áreas de Cana 7 e de Cana 6.

Esses resultados estão de acordo com Yemefack et al. (2005), que afirmam que essa técnica permite agrupar variáveis com características semelhantes entre si e com o aumento da variabilidade entre os agrupamentos formados.

**FIGURA 3** – Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo os atributos microbiológicos, físicos e químicos (carbono na biomassa microbiana; respiração basal do solo, teores de carbono total, nitrogênio total, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio disponíveis, areia, argila, densidade do solo e porosidade total, da camada de 0-10 cm de profundidade).



Fonte: Da autora, 2015.

#### **4 CONCLUSÃO**

Em áreas cultivadas de cana-de-açúcar irrigada, a manutenção de parte da palhada sobre a superfície do solo, ao longo tempo, contribuiu para a eficiência do uso de carbono orgânico pelos microrganismos do solo.

A renovação de sistemas de monocultivo irrigado de cana-de-açúcar afeta a funcionalidade dos processos biológicos do solo, que é recuperada logo após a primeira colheita, com conservação de parte da palhada sobre a superfície do solo.

Ao longo do tempo, a deposição de palhada de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo manteve os estoques de carbono e nitrogênio do solo semelhantes àqueles encontrados em áreas de vegetação nativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press, 1995. 576p.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v. 33. p. 17-28, 1995.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. & BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> (q CO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. **Biomassa microbiana do solo**. Teresina, UFPI, 2012.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

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

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599-607, 2000.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 565-573, 2006.

BRASIL. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). 2008. Governo Federal, Brasília, DF, Brasil. 132p. Disponível em: <<http://www.forumclima.org.br>>. Acesso em: 03 jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico de agroenergia 2012**: statistical yearbook of agrienergy. Secretaria de Produção e Agroenergia. Bilíngüe. – Brasília: MAPA/ACS, 2013. 284 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia. 2030**. Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 2007.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 269-279, 1995.

CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 103 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n.3, p. 304-312, 2013.

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.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p.14:133-142, 1990.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI, C. E. P.; COSTA JUNIOR, C.; FEIGL, B. J.; FRAZÃO, L. A.; MELLO, F. F. C.; GALDOS, M. V.; MOREIRA, C. S.; CARVALHO, J. L. N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agrícola**, v. 67, p. 102-116, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Safra 2015/16. v. 1, n. 4, Brasília, 2015a.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Safra 2015/16. v. 2, n. 1, Brasília, 2015b.

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, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A.D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II – Atributos Biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, p. 56-63, 2012.

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

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 179-186, 2004.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 17-28.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologia e perspectivas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2012. p.24-49.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 03-21.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agroecologia da Cana-de-Açúcar**. Disponível em: <<http://www.cana.cnpem.br/>>. Acesso em: 26 de dez. 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais: área de atuação da SUDENE. Recife, 1979. 407p. (EMBRAPA – SNLCS. Boletim Técnico, 60; SUDENE – DRN. Série Recursos de Solos, 12).

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B. PIRES, F. R. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1549-1562, 2013.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, E. A.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.31, p. 1625-1635, 2007.

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

GALDOS, M. V. **Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 101p., 2007.

GAVA, G. J. C. **Utilização do nitrogênio da uréia ('ANTPOT.15 N') e da palhada ('ANTPOT.15 N') por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo**. Dissertação (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 81p., 1999.

GONÇALVES, N. H. Manejo do solo para implantação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. *et al.* **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. São Paulo: Piracicaba, CP 2, 2006. p. 93-103.

HART, P. B. S.; AUGUST, J. A.; WEST, A. W. Long-term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two New Zealand loessial soils under grazed pasture. *Land Degradation*, [S.l.], v. 1, p. 77-88, 1989.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. **Biomass power generation**: sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: PNUD Brasil, Centro de Tecnologia Canavieira. 2005. 216p.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 10, p.1055-1061, 2012.

ISLABÃO, G. O.; TIMM, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PRESTES, R. B.; BAMBERG, A. L. Carbono da biomassa e atividade microbiana em solos cultivados com morango no município de Turuçu/RS. In: SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paranaíba do sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_issuetoc&pid=0100-068320120006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0100-068320120006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 ago. 2014.

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

JENKINSON, D. S.; POLWSON, D. S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F. **Ecologia Microbiana do Solo**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2007. 24p.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 821-832, 2003.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; NETO, M. R. H. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1257-1263, 2013.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÉS, 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 Ciências do Solo**, v. 36, n. 2, p. 789-800, 2008.

LUCA, E. F. **Matéria orgânica e atributos do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 101p., 2002.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v. 149, p. 84-91, 2009.

MATIAS, M. C. B. S.; SILVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. de. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-82, 2000.

MERCANTE, F. M. **Biomassa e atividade microbiana: Indicadores da qualidade do solo**. Direto Cerrado, p. 9-10, 2001.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 4, p. 479-485, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006, 729p.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUIZ, C. F. M.; História e morfologia da cana-de-açúcar. *In*: SEGATO *et al.* **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP: Editora Prol, 2006, p.11-18.

PACHECO, T. F. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?** Brasília: Embrapa Agroenergia, 2011, 6 p. (Circular Técnica 04).

PAREDES JÚNIOR, F. P. **Bioindicadores de qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos**. Aquidauana, 2012. 95p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquidauana-MS, 2012.

PEREZ, K.S.; RAMOS, M.L.G. & 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.

PÔRTO, M. L.; ALVES, J. C.; DINIZ, A. A.; SOUZA, A. P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1011-1017, 2009.

REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Embrapa Cerrados. Planaltina – DF. 2007. Documentos. 40 p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2006.

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

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO *et al.* **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP: Editora Prol, 2006, p.19-36.

SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios**. Lavras: UFLA, 2008c. 136p.

SIGNOR, D; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D.; CERRI, C. E. P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1402-1410, 2014.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E.G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**. Seropédica-RJ: Comunicado Técnico Embrapa, 2007a.

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

SILVA-OLAYA, A. M. **Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar**. 101 p. 2010. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2010.

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

SOARES, L. H. B. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agroenergia, 2009. 14 p. (Circular Técnica 27).

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.

SOUZA, E. L. L.; MACEDO, I. C. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

SOUZA, Z. M.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. M.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1062-1068, 2005.

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Eds.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, 1997. p. 97-120.

STÜRMER, S. L. K.; ROSSATO, O. B.; COPETTI, A. C. C.; SANTOS, D. R. CALEGARI, A.; BRUM, B. Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 241-250, 2011.

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**. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 105p, 2007.

VILLATORO, M. A. A. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura do café sob manejo agroflorestal e orgânico**. Seropédica: UFRRJ, 2004. 176p. Tese Doutorado.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 6, p. 703-707, 1987.

VENZKE FILHO, S. de; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. de C.; NETO, M. S.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 2. Viçosa-MG, 2008. p. 599-610.

VITTI, A. C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade**. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 114p., 2003.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ZORATELLI, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.. Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 323-342.

USSIRI, D. A. N.; LAL, R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, v. 104, p. 39-47, 2009.

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

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors with influence of microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, v. 67, p. 321-358, 1992.

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

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

YEMEFACK, M.; ROSSITER, D. G.; NJOMGANG, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. **Geoderma**, v. 125, n.01/02, p. 117-143, 2005.

ZILLI, J. E; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. da C.; NEVES M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.