



FLÁVIA REIS SALES

**INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES FAVORECE ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS
DO SOLO EM DIFERENTES CULTIVARES DE CANA-DE-
AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

LAVRAS-MG

2017

FLÁVIA REIS SALES

**INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES FAVORECE
ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DO SOLO EM DIFERENTES CULTIVARES DE
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Microbiológicos do Solo, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Orientador

LAVRAS-MG

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Sales, Flávia Reis.

Inoculação com fungos micorrízicos arbusculares favorece atributos bioquímicos do solo em diferentes cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) / Flávia Reis Sales. - 2017.

61 p. : il.

Orientador(a): Marco Aurélio Carbone Carneiro.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Microbiota. 2. Micorrização. 3. Saccharum spp. I. Carneiro, Marco Aurélio Carbone. . II. Título.

FLÁVIA REIS SALES

**INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES FAVORECE
ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DO SOLO EM DIFERENTES CULTIVARES DE
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Microbiológicos do Solo, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de abril de 2017.

Profa. Dra. Fatima Maria de Souza Moreira UFLA

Prof. Dr. Edicarlos Damacena Souza UFMT

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Orientador

LAVRAS-MG

2017

*À Deus por estar sempre iluminado meus passos.
À minha filha Isis por me ensinar a mais linda forma de amor.
À minha amiga Aline Oliveira que tanto me ajudou e incentivou.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nenhuma realização seria possível.

Aos meus pais, Nirlane e Antônio, por serem meus alicerces. À minha irmã Lú, por estar sempre comigo indicando o melhor caminho.

Ao meu marido Cássio, pelo companheirismo, apoio diário e por ter me proporcionado o melhor presente, nossa filha Isis.

À Aline, uma grande amiga que foi extremamente essencial para a condução desse trabalho, pois desde o início vem me ajudando e me passando seu vasto conhecimento. Acima de tudo, obrigada pela amizade!

À Elzane por me ensinar como faz isso ou saber onde está aquilo e pela constante organização do laboratório.

Aos amigos da família micobacter, pela amizade e por aguentarem minha falação, em especial Anita (leia-se Serginho), Olavo, Tainara, Bruna, César, Jac, Jú, Karl Kemmelmeir, Danisângela, Mari, Amanda Monique e Jordana.

Aos Pós-docs Amanda, Sílvia, Damy, Márcia e Jessé pela prontidão.

Aos técnicos do laboratório da micro, Sr. Manuel e Marlene, pela ajuda de sempre.

Aos demais técnicos dos outros laboratórios do DCS pelos empréstimos e favores, em especial Humberto e Roberto!

Aos órgãos de fomento CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro. E ao Departamento de Ciências do Solo - DCS/UFLA pelo apoio institucional.

Ao professor Marco Aurélio pela orientação, ensinamentos e paciência.

À professora Fatima Moreira pelo apoio.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A biomassa microbiana do solo é definida como parte viva e ativa do solo, composta por microorganismos que atuam no processo de decomposição da matéria orgânica, representando um reservatório de nutrientes para as plantas, atuando na sustentabilidade biológica e na produtividade nos ecossistemas. É considerado indicador sensível às alterações ambientais e antrópicas e utilizada como ferramenta para orientar o planejamento e avaliar as práticas de manejo do solo. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da inoculação com Fungos Micorrízicos Arbusculares em diferentes cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) sobre os atributos bioquímicos em um Latossolo Vermelho distroférico. O experimento foi conduzido em campo no município de Lavras-MG, em área de produção de cana-de-açúcar da empresa Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça Ltda. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), profundo, bem drenado e textura muito argilosa, cujas características químicas foram: pH = 6,5; Ca = 2,90 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,3 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; P = 1,1 mg dm⁻³; K = 28 mg dm⁻³; V = 67%; M.O. = 2,61 dag Kg⁻¹. Foram utilizadas seis cultivares (CTC1, CTC7, CTC9, CTC16, SP891115 e RB925345) de cana-de-açúcar; o delineamento estatístico utilizado foi o DBC, em esquema fatorial 6 x 2 com 3 repetições envolvendo as 6 cultivares, com e sem inoculação de FMAs, obtidos de cultivos armadilha existentes em casa de vegetação no Setor de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), totalizando 36 parcelas, durante duas safras. Foram avaliados o carbono orgânico total (COT), o nitrogênio total do solo (N-total), o carbono da biomassa microbiana (C-BM), o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM), a respiração microbiana, atividades enzimáticas da β-glucosidase, urease, fosfatase ácida e hidrólise do diacetado de fluoresceína (FDA). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias dos tratamentos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico Sisvar. Conforme análise de variância constatou-se que houve efeito significativo para a interação Cultivar x Inoculação com FMAs no N-total, C-BM, qCO₂, atividades enzimáticas da β-glucosidase, urease e FDA. As médias para os tratamentos inoculados foram maiores quando comparados aos tratamentos não inoculados, evidenciando que a inoculação com FMAs tem efeito benéfico sobre a microbiota nativa do solo, havendo maior destaque nos atributos bioquímicos avaliados para a CTC7.

Palavras-chave: Microbiota. Micorrização. *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

Microbial biomass is defined as a living and active part of the soil, consisting of microorganisms that operate in the decomposition of organic matter, representing a reservoir of nutrients for plants, acting on sustainability and productivity in ecosystems. It is considered an indicator that is sensitive to environmental and anthropogenic changes and it is used as a tool to guide the planning and evaluation of soil management practices. In this context, the aim of this study was to evaluate the effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in different sugarcane (*Saccharum officinarum*) cultivars, on the biochemical attributes in an Oxisol. The experiment was conducted in the field of Lavras-MG, in a sugarcane production area of Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça Ltda. The soil was classified as a Deep Latosol (LVdf), deep, well drained and very clayey, whose chemical characteristics were: pH = 6.5; Ca = 2.90 cmol_c dm⁻³; Mg = 1.3 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; Q = 1.1 mg dm⁻³; K = 28 mg dm⁻³; V = 67%; MO = 2.61 g kg⁻¹. Six sugarcane cultivars were used (CTC1, CTC7, CTC9, CTC16, SP891115 and RB925345); the statistical design was DBC, factorial 6 x 2, with 3 replications involving six cultivars, with and without inoculation of FMAs obtained from trap plants existing in a greenhouse in the Biology, Microbiology and Soil Biological Processes Department in the Soil Science Department of Federal University of Lavras (UFLA), totaling 36 plots during two harvests. Total organic carbon (COT), total soil nitrogen (N-total), microbial biomass carbon (C-BM), microbial biomass nitrogen (N-BM), microbial respiration, enzymatic activities of β-glucosidase, urease, acid phosphatase and fluorescein diacetyl hydrolysis (FDA), were evaluated. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Scott Knott test at 5% probability, using the statistical program Sisvar. According to the analysis of variance, it was found that there was a significant effect for the interaction Cultivar x Inoculation with FMAs on N-total, C-BM, qCO₂, enzymatic activities of β-glucosidase, urease and FDA. The mean values for the inoculated treatments were higher, when compared to non-inoculated treatments, evidencing that inoculation with FMAs has a beneficial effect on the native soil microbiota, with a greater emphasis on the biochemical attributes evaluated for CTC7.

Keywords: Microbiota. Mycorrhization. *Saccharum officinarum*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Campo de Produção de Cana-de-açúcar - Lavras/MG, 2016.....	20
Figura 2 -	Efeito da inoculação com FMAs no teor de carbono orgânico total do solo nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).....	27
Figura 3 -	Efeito da inoculação com FMAs no teor de nitrogênio total do solo na primeira safra de cana-de-açúcar(CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).....	29
Figura 4 -	Efeito da inoculação com FMAs no teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).....	32
Figura 5 -	Respiração microbiana do solo em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).....	34
Figura 6 -	Atividade da fosfatase ácida em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).....	38
Figura 1A -	Variação mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média do ar entre os meses de novembro de 2014 e outubro de 2016 no município de Lavras/MG.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrição das cultivares de cana-de-açúcar: CTC1, CTC7, CTC9, CTC16, SP891115 e RB925345.....	21
Tabela 2 -	FMA's recuperados nos cultivos armadilhas.....	22
Tabela 3 -	Nitrogênio total do solo em resposta à inoculação de FMA's em diferentes cultivares na segunda safra de cana-de-açúcar.....	29
Tabela 4 -	Carbono da biomassa microbiana do solo em resposta à inoculação de FMA's em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.....	31
Tabela 5 -	Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em resposta à inoculação de FMA's em diferentes cultivares na primeira safra de cana-de-açúcar.....	32
Tabela 6 -	Atividade da β -glucosidase em resposta à inoculação de FMA's em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.....	35
Tabela 7 -	Atividade da urease em resposta à inoculação de FMA's em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.....	37
Tabela 8 -	Atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) em resposta à inoculação de FMA's em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.....	39
Tabela 9 -	Atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) em resposta à inoculação de FMA's em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.....	40
Tabela 1B -	Análise de Variância dos atributos bioquímicos do solo na cultura na cana-de-açúcar inoculados com FMA's nas duas safras de cana-de-açúcar.....	57
Tabela 2B -	Médias dos atributos bioquímicos que houveram efeito significativo entre as cultivares de cana-de-açúcar.....	58
Tabela 3B -	Produtividade das cultivares de cana-de-açúcar em relação à inoculação de FMA's.....	58
Tabela 4B -	Médias de colonização micorrízica em diferentes cultivares de cana-de-açúcar.....	59
Tabela 5B -	Correlação de Pearson entre os atributos estudados na primeira safra de cana-de-açúcar.....	60
Tabela 6B -	Correlação de Pearson entre os atributos estudados na segunda safra de cana-de-açúcar.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Importância da cana-de-açúcar.....	12
2.2	Fungos Micorrízicos Arbusculares.....	12
2.3	Biomassa microbiana do solo.....	14
2.4	Atividades enzimáticas.....	17
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1	Área de estudo.....	19
3.2	Cultivares de cana-de-açúcar avaliadas.....	21
3.3	Carbono orgânico total e Nitrogênio total do solo.....	23
3.4	Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana do solo.....	23
3.5	Respiração microbiana e Quociente metabólico.....	23
3.6	Atividades enzimáticas.....	23
4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1	Carbono orgânico total e Nitrogênio total do solo.....	26
5.2	Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana do solo.....	29
5.3	Respiração microbiana e Quociente metabólico.....	33
5.4	Atividades enzimáticas.....	36
5.4.1	β -glucosidase.....	36
5.4.2	Fosfatase ácida.....	37
5.4.3	Urease.....	38
5.4.4	Hidrólise de diacetato de fluoresceína.....	39
5.5	Correlações entre os atributos bioquímicos do solo, colonização micorrízica e produtividade.....	40
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
7	CONCLUSÕES.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45
	ANEXOS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Produtores e pesquisadores de cana-de-açúcar estão cada vez mais atentos às práticas agrícolas que promovem menor degradação do solo e maior sustentabilidade da agricultura aliada ao aumento na produção. Dessa forma, os atributos bioquímicos do solo, tais como carbono da biomassa microbiana e sua atividade, podem ser utilizados para direcionar manejos do uso do solo voltado para redução dos custos de produção associado à sustentabilidade do solo (SINGH; PANDEY, 2011). A modificação das práticas de manejo no solo que geram o aumento da diversidade funcional dos microrganismos do solo é essencial para melhoria da qualidade do solo (MEDEIROS et al., 2015).

Esses microrganismos são de grande importância na mediação de diversos processos que acontecem no solo, como a decomposição dos resíduos orgânicos, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia dentro do solo (SOUZA et al., 2008). Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) são fungos biotróficos obrigatórios que formam simbioses mutualísticas com a maioria das plantas vasculares terrestres. Estes fungos proporcionam o melhor desenvolvimento vegetal devido ao aumento de absorção de água e nutrientes, principalmente os nutrientes poucos móveis como o fósforo, ocasionado pela presença das hifas extrarradiculares dos FMAs. Em contrapartida, o fungo é beneficiado com fotoassimilados e fatores de crescimento necessários para completar seu ciclo de vida advindo da planta. (SMITH; READ, 2008).

Para a cana-de-açúcar, por ser esta uma cultura de expressivo impacto sobre o solo em virtude do uso de maquinário agrícola, além do manejo com práticas convencionais, torna-se necessário conhecer o efeito das alterações no sistema tradicional de produção sobre atributos do solo. Entre as plantas que formam associação com os FMAs, a cana-de-açúcar tem sido considerada uma planta micotrófica, ou seja, é dependente da simbiose com esses fungos. Porém, devido ao caráter biotrófico obrigatório dos FMAs, o uso de inoculantes de FMAs comerciais tem sido inviável, tornando o manejo da população nativa de FMAs o melhor caminho para estimular a associação entre a cana e os FMAs. Além disso, pouco se conhece dos efeitos da inoculação com FMAs nos atributos bioquímicos do solo relacionando a fertilidade do solo em estudo de campo para a cultura da cana-de-açúcar.

Portanto, o presente estudo objetivou avaliar o efeito da inoculação com FMAs em diferentes cultivares de cana-de-açúcar sobre os atributos bioquímicos em um Latossolo Vermelho distroférico.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da cana-de-açúcar

O agronegócio da cana-de-açúcar é um grande alicerce da balança comercial brasileira. A safra estimada para 2017/2018 é de 647,6 milhões de toneladas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017). A forte participação brasileira no cenário mundial é atribuída, entre outros fatores, à disponibilidade de áreas agricultáveis, relevo, condições climáticas favoráveis e conhecimento técnico adquirido pelas práticas de cultivo e pesquisas (CALDAS et al., 2012; SILVA, 2011). O cultivo da cana-de-açúcar foi a principal atividade econômica desenvolvida durante o período em que o Brasil manteve-se como colônia de Portugal, entre os anos de 1500 e 1822 (NARITOMI, 2007). Em 1501 foram introduzidas, pelos portugueses, as primeiras cultivares no Brasil. Entretanto, o foco da coroa portuguesa naquela época estava direcionado à extração de madeira e, somente após 30 anos do descobrimento, na capitania de São Vicente, a cana-de-açúcar foi cultivada por Martin Afonso de Souza em escala comercial. (SILVA, 2011; SOUZA et al., 2008).

Por ser, atualmente, o Brasil o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, essa cultura tem um papel importante na economia nacional. Gera empregos diretos e indiretos, sendo a cultura matéria-prima para as agroindústrias do açúcar, etanol, cachaça e geração de energia, bem como para a alimentação animal, entre outros (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2012). Apesar dessa versatilidade, a maior parte da produção nacional é destinada aos biocombustíveis e ao açúcar (DIAS, 2011).

Devido ao crescimento do consumo interno, o etanol no Brasil tem tido a produção cada vez mais crescente (MORAES; ZILBERMAN, 2014). As estimativas indicam que os mercados potenciais, tanto interno como externo, vão necessitar de aproximadamente 35,7 bilhões de litros de etanol (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2015), o que coloca essa cultura cada vez mais como destaque no cenário do agronegócio.

2.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) são capazes de formar uma associação simbiótica mutualística com raízes de plantas durante seu ciclo de vida, aumentando a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento das plantas. Trata-se de

simbiontes obrigatórios, onde os FMAs necessitam do hospedeiro para completar seu ciclo (biotróficos obrigatórios) (GAI et al., 2006; MOHAN et al., 2014).

Os FMAs intervêm como uma extensão do sistema radicular através de suas hifas extra radiculares, auxiliando na absorção de água e nutrientes minerais para a planta, principalmente aqueles elementos pouco móveis no solo como fósforo, zinco e cobre, resultando em maior vigor, sanidade da planta e melhoria na resistência a situações de estresse nutricional e hídrico (QUEREJETA; EGERTON-WARBURTON; ALLEN, 2009).

A relação simbiótica formada entre os FMAs e a planta é evidenciada pela penetração das hifas fúngicas inter e intracelularmente às raízes. As hifas se desenvolvem no tecido cortical e a diferenciação de hifas intracelulares terminais em estruturas efêmeras chamadas de arbúsculos, e não ocorrem modificações morfológicas nas raízes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Na interface formada pelos arbúsculos e as células corticais, acontecem trocas de nutrientes e metabólitos entre o fungo e a planta, estabelecendo-se um fluxo bidirecional (SMITH; READ, 1996).

Os FMAs podem auxiliar o desenvolvimento das plantas em condições edáficas estressantes, como solos ácidos e distróficos, como ocorre em grande parte dos solos das regiões tropicais (MOHAN et al., 2014; RUY, 2015). A baixa disponibilidade de nutrientes, aliada à baixa mobilidade de nutrientes importantes como P, Cu e Zn, fazem da micorriza uma condição essencial ao desenvolvimento vegetal (RUY, 2015).

A cultura da cana-de-açúcar beneficia-se da inoculação com FMAs, como foi verificado por Reddy et al. (2004), que observaram maior desenvolvimento da planta aos 40 e 80 dias de plantio em campo. Em outro estudo, foi observado que a produção de cana-de-açúcar foi maior em plantas inoculadas com FMAs somente em tratamentos com adubação reduzida de nitrogênio, fósforo e potássio, comparada à cana-de-açúcar sem inoculação (QUILLOY; LANSANG, 1992).

Em experimento de campo a partir de cana-planta e cana-soca em Tamil Nadu, Índia, Suredran e Vani (2013) observaram o efeito da inoculação com FMAs no rendimento da cultura apontando redução de 25% na aplicação de fertilizantes fosfatados quando ocorre a inoculação de FMAs.

A maior parte dos estudos realizados se deu utilizando somente uma variedade de cana-de-açúcar, sendo importante avaliar a interação entre diferentes cultivares com relação à micorrização. Reis, Paula e Döbereiner (1999), relacionando FMAs com cana-de-açúcar em condições de campo, estudaram 14 variedades da cultura em diversas lavouras no estado do

Rio de Janeiro e em Pernambuco, encontrando 18 espécies de FMAs, e ainda demonstraram que a prática da queima do canavial antes da colheita reduziu a diversidade dos FMAs.

Estudos que relatam a interação de FMAs com cana-de-açúcar têm sido mais difundidos ao longo dos anos (KOIDE; MOSSE, 2004) em função dos efeitos benéficos dos FMAs para a nutrição das plantas e para a conservação de ecossistemas. Principalmente em plantas que se desenvolvem sob estresse, nas quais a simbiose mutualística auxilia na absorção de água e nutrientes, diminuindo as condições adversas (CAVALCANTE; GOTO; MAIA, 2013; GAI et al., 2015; MOHAN et al., 2014).

Na implantação da cultura, o solo é revolvido, quebrando sua estrutura. Nesse processo a matéria orgânica é exposta, que em conjunto com a alteração de pH ocorre a decomposição e mineralização pela biomassa microbiana. Como não há entrada, o carbono orgânico é perdido reduzindo a biomassa microbiana e sua atividade no solo. Portanto, o uso de manejo ou práticas que possibilitem o rápido crescimento da planta com uso de FMAs e o aumento da biomassa microbiana, consequentemente do carbono orgânico, pode favorecer a maior resiliência do solo a alterações climáticas e antrópicas. No entanto, estudos relacionando o efeito da inoculação com FMAs nos atributos bioquímicos do solo como a biomassa e atividade microbiana são escassos na literatura.

2.3 Biomassa microbiana do solo

A biomassa microbiana do solo é definida como parte viva e ativa do solo, composta por bactérias, fungos, protozoários, actinobactérias e algas, que atuam no processo de decomposição de resíduos orgânicos, através da ciclagem de nutrientes e fluxo de energia dentro do solo (JENKINSON; LADD, 1981). Contém de 1% a 4% de C e de 3% a 5% de N total no solo, e representa um reservatório de nutrientes para as plantas. Assim, é considerado indicador das alterações ambientais e usada como ferramenta para orientar o planejamento e avaliar as práticas de manejo do solo (SPADOTTO et al., 2004).

Dessa maneira, alterações na comunidade microbiana e na sua atividade interferem diretamente nos processos biológicos e bioquímicos do solo, na produtividade agrícola e, consequentemente, na sustentabilidade dos agroecossistemas, podendo atuar como indicador de degradação dos solos (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003).

A biomassa microbiana representa parte da matéria orgânica, que é sensivelmente influenciada pelo manejo do solo e pelas alterações ambientais (MARCHIORI JUNIOR; MELO, 2000). Atuando como reservatório de nutrientes promove a imobilização provisória

de elementos minerais, diminuindo as perdas, possibilitando sua posterior disponibilidade para as plantas. De acordo com o manejo pode-se incorporar quantidades de resíduos vegetais com capacidade de alteração da biomassa microbiana e sua atividade no solo (ESPINDOLA et al., 2001).

Estudos foram realizados em diversos locais do mundo, verificando grande redução no carbono da biomassa microbiana nas áreas sob cultivo sem aplicação de práticas conservacionistas, apontando a maior sensibilidade desse indicador em relação à matéria orgânica na avaliação do impacto da conversão de áreas nativas para sistemas agrícolas (GUPTA; GERMIDA,1988; MACIEL et al., 1996; MENDES et al., 1999; MERCANTE et al., 2000; OLIVEIRA, 2000; SINGH; SINGH, 1995).

Mendes et al. (2003) observaram que o estabelecimento de sistemas de cultivo gerou quebra de macroagregados do solo e diminuição no carbono da biomassa microbiana quando comparados aos valores da vegetação nativa. Matsuoka, Mendes e Loureiro (2003) concluíram que o carbono da biomassa microbiana, juntamente com outros indicadores biológicos, foi sensível para indicar alterações devido ao uso agrícola com diferentes sistemas de uso.

A liberação do Nitrogênio retido na biomassa ocorre quando essa biomassa é mineralizada pela população restante em solos submetidos a estresses ambientais, a maioria do N mineralizado pode ser de origem microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1980). Dessa maneira, a biomassa microbiana representa um tampão do nitrogênio do solo, controlando a disponibilidade desse nutriente por meio dos processos de mineralização e imobilização. Nos diversos sistemas de manejo do solo, a microbiota recebe estímulos diferenciados, devidos à composição dos resíduos das espécies vegetais e aos métodos de preparo de solo. Isto resulta em diferenciação na atividade microbiana, na relação imobilização-mineralização do nitrogênio e nas taxas de decomposição dos resíduos (MARUMOTO; ANDERSON; DOMSCH,1982).

Para a implantação de um canal é necessário realizar procedimentos como aração e gradagem, se houver necessidade de calagem deve-se esperar 60 dias para abertura do sulco, para posterior adubação e plantio. O plantio é realizado por meio de toletes de 30 cm que devem ser colocados na sequência ponta com pé, para que haja melhor circulação dos hormônios de crescimento. Dessa maneira, esse manejo pode gerar perdas na estrutura do solo, pois é necessário o uso de maquinário agrícola, o que expõe a matéria orgânica do solo promovendo a diminuição de carbono orgânico, acarretando em menor CTC e, conseqüentemente, ocorre maior necessidade do uso de fertilizantes.

Portanto, a cultura da cana-de-açúcar é cultivada em ambientes distintos e com diversos tipos de manejos, sendo estabelecida em algumas propriedades sem que tenha ocorrido qualquer avaliação do impacto resultante do manejo na microbiota do solo. São necessárias práticas adequadas, de acordo com as propriedades do solo, pois os atributos químicos, físicos e biológicos do solo são afetados pelas práticas agrícolas, estando relacionados com o clima, com as condições de solo, o tipo de cultura e as práticas adotadas. A biomassa microbiana responde às alterações do manejo do solo e constitui um indicador das alterações na matéria orgânica do solo. A atividade agrícola convencional gera grande impacto nas propriedades microbiológicas dos solos cultivados, reduzindo a biomassa microbiana nessas áreas, fato este observado em alguns estudos com cana-de-açúcar (MENDES et al., 2003).

Galdos (2007), em estudo sobre o comportamento da biomassa microbiana em solos cultivados com cana-de-açúcar em cronosequência constituída por áreas com e sem queima da palhada, verificou diferença no comportamento da biomassa microbiana no solo. Inicialmente, após a deposição, ocorreu um aumento da atividade microbiana, devido à entrada de resíduos vegetais e com a decomposição desse material houve uma redução da atividade microbiana pela falta de carbono para oxidação.

O processo de decomposição de resíduos orgânicos ocorre por meio de reações microbianas de oxidação, onde os microrganismos, após receberem carbono e energia para seu crescimento e funções celulares, transformam esses compostos orgânicos complexos em substratos mais simples e/ou inorgânicos disponíveis e assimiláveis pelas plantas (MINHONI; EIRA; CARDOSO, 1990). Com as reações de oxidação, parte do carbono do substrato é utilizada na produção de um novo protoplasma celular, enquanto a outra parte é liberada na forma de CO_2 .

As determinações da biomassa microbiana do solo fornecem indicações sobre os níveis de atividade das populações de microrganismos; no entanto, pode haver no solo altas quantidades de biomassa inativa, o que justifica a importância dos parâmetros que medem a atividade microbiana para avaliar o estado metabólico atual e potencial dessas comunidades. Dessa maneira, a respiração microbiana reflete a atividade microbiológica do solo e pode ser medida pela quantificação de CO_2 liberado resultante da atividade dos microrganismos tanto aeróbios quanto anaeróbios (TÓTOLA; CHAER, 2002).

2.4 Atividades enzimáticas

Outro atributo biológico importante são as enzimas do solo, que estão diretamente ligadas com os processos relacionados à degradação de compostos orgânicos e xenobióticos, mineralização e ciclagem de nutrientes (D'ANDRÉA, 2004).

A seleção das enzimas para análise, a fim de se avaliar a qualidade do solo, é embasada na sua sensibilidade ao manejo do solo, na decomposição da matéria orgânica e no modo como será feita a análise. Geralmente as enzimas analisadas são da classe das hidrolases, relacionadas aos ciclos dos principais elementos do solo, como C, N, P e S.

As glucosidases catalisam reações de hidrólise de maltose e celobiose, cujos produtos são significativas fontes de energia para os microrganismos do solo (TABATABAI, 1994).

As ureases fazem parte do ciclo do Nitrogênio, auxiliando a liberação de N inorgânico e catalisando a hidrólise da ureia a CO_2 e NH_3 , sendo amplamente distribuída na natureza (DICK; BREAKWELL; TURCO, 1996).

As fosfatases são imprescindíveis na mineralização do fósforo e, também, na ciclagem deste nutriente. Estão distribuídas no solo e são de grande importância porque catalisam a hidrólise de fósforo orgânico a fósforo inorgânico, tornando-o disponível para as plantas. Conforme seu pH ótimo de ação podem ser classificadas como ácidas (pH 6,5) ou alcalinas (pH 11) (ALEF; NANNIPIERI, 1995; TABATABAI, 1994).

Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) se trata de um método cujo objetivo é avaliar a atividade hidrolítica indiscriminada (SCHNÜNER; ROSSWALL, 1982). De acordo com Alencar e Costa (2000), o FDA é hidrolisado por várias enzimas não específicas (lípases, proteases e esterases) sintetizadas por microrganismos que fazem parte da degradação de diversos resíduos orgânicos.

Silveira (2007), em trabalho realizado, utilizou como indicador das alterações do solo as atividades enzimáticas da β -glucosidase, urease e fosfatase ácida. Nesse estudo, os autores constataram que as atividades enzimáticas foram influenciadas pela quantidade de carbono orgânico no solo originado do plantio direto ou por deposição da mata. Dessa maneira, os autores concluíram que o carbono orgânico, além de ser aproveitado como fonte de energia pelos microrganismos, protege as enzimas do ataque de enzimas proteolíticas, mantendo-se de forma intensa no solo.

Matsuoka, Mendes e Loureiro (2006), após estudo, concluiu que a β -glucosidase, urease e fosfatase ácida são sensíveis à mudança do manejo da cultura podendo indicar

alterações no solo. Dessa forma, estudos sobre a atividade enzimática são bons indicativos de qualidade e sustentabilidade do solo cultivado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido no município de Lavras/MG, em área de produção de cana-de-açúcar da empresa Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça Ltda., localizada na rodovia BR265- km349, a 912m de altitude, 21°16'04.45"S e 45°00'12.88"W, no período de dezembro de 2014 a dezembro de 2016. A classificação climática segundo Köppen é o Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, tropical.

A área em estudo possui cultivo de cana-de-açúcar há 23 anos, em sistema convencional, sem a queima da cultura para colheita (FIGURA 1). O preparo do solo historicamente segue o sistema convencional de cultivo, sendo realizada a aração seguida de gradagem com abertura dos sulcos utilizando tração mecanizada. Na safra anterior (2011-2014) foi realizada a calagem aplicando no sulco de plantio 2 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico. Utilizou-se 650 kg.ha⁻¹ da formulação 8-28-16 no sulco de plantio conforme adubação de base, onde o solo apresentava pH (H₂O) = 5,3; Ca = 0,6 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,5 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; P = 0,5 mg dm⁻³; K = 15 mg dm⁻³; V = 22%; M.O.= 2,1 dag Kg⁻¹. Na adubação de cobertura utilizou-se 140 kg.ha⁻¹ de ureia, aos 60 dias após o plantio. O controle das plantas daninhas foi realizado através da aplicação em pós-emergência de herbicida a base dos ingredientes ativos 2,4D (1,5L.ha⁻¹) e diuron (2,5 L.ha⁻¹).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), profundo, bem drenado e textura muito argilosa (Embrapa, 2006). Na instalação do experimento o solo apresentou pH (H₂O) = 6,5; Ca = 2,90 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,3 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; P = 1,1 mg dm⁻³; K = 28 mg dm⁻³; V = 67%; M.O.= 2,61 dag Kg⁻¹.

Figura 1 - Campo experimental de produção de cana-de-açúcar - Lavras/MG, 2016.



Fonte: Google Earth.

O experimento foi instalado em dezembro de 2014 e constou de um delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 6×2 com 3 repetições envolvendo 6 cultivares com e sem inoculação de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs), totalizando 36 parcelas. Cada parcela foi constituída por três sulcos de 5,0 m lineares, espaçados em 1,30 m entre si, cuja profundidade era de 0-30 cm. A cana foi distribuída nos sulcos de plantio no esquema ponta e pé e, posteriormente, cortada em toletes de 30 cm, cujo objetivo foi de se obter de 8 a 12 plantas por metro linear.

O preparo do solo seguiu o sistema convencional de cultivo, sendo realizada aração seguida de gradagem e abertura de sulcos utilizando tração mecanizada. De acordo com a análise de solo, não foi necessária a realização da calagem. A adubação foi executada conforme a análise química de solo e recomendações para a cultura (KORNDÖRFER et al., 1999), aplicando-se 50% da dose recomendada o correspondente a 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Superfosfato Simples) e 160 kg ha^{-1} de K_2O (Cloreto de Potássio) e, aos 60 dias após o plantio, realizou-se uma adubação nitrogenada de cobertura correspondente a 60 kg ha^{-1} de N, na forma de Sulfato de Amônio a lanço.

3.2 Cultivares de cana-de-açúcar avaliadas

O estudo constou de seis cultivares de cana-de-açúcar (CTC1, CTC7, CTC9, CTC16, SP891115 e RB925345) de procedências distintas, obtidas de trabalhos realizados por Sales et. al (2016) na mesma área onde foi instalado o experimento de campo. Uma descrição sucinta dessas cultivares encontra-se na TABELA 1.

Tabela1 - Descrição das cultivares de cana-de-açúcar: CTC1, CTC7, CTC9, CTC16, SP891115 e RB925345.

Cultivar	Características	Referência
CTC1	Ciclo precoce, baixa produtividade, requerimento nutricional alto.	CTC, 2012
CTC7	Ciclo precoce, alta produtividade, requerimento nutricional médio.	CTC, 2012
CTC9	Ciclo precoce, alta produtividade, requerimento nutricional médio.	CTC, 2012
CTC16	Ciclo precoce, baixa produtividade, requerimento nutricional alto.	CTC, 2012
SP891115	Ciclo precoce, baixa produtividade, requerimento nutricional médio.	MARIN, 2005
RB925345	Ciclo precoce, baixa produtividade, requerimento nutricional médio.	RIDESAS, 2010

Fonte: Da autora.

Os FMAs utilizados foram obtidos da própria área experimental. Para obtenção, traçou-se um transecto alocando 10 pontos. Em cada ponto foram realizadas três amostras simples na profundidade de 0-20 cm, formando uma amostra composta por ponto, totalizando 10 amostras compostas no transecto.

Com o solo foram realizados cultivos armadilhas para obtenção de inóculos de FMA sem vasos com capacidade para 2kg, desinfestados a partir da imersão em solução de ácido sulfúrico a 5% por 24 horas, onde, após a desinfestação, foram enxaguados abundantemente. Os vasos foram montados em casa de vegetação considerando uma camada no fundo do vaso de 250ml de areia esterilizada (areia lavada e esterilizada, 2 autoclavagens a 121°C, por 50 minutos, com intervalo de 24 horas), uma camada de 50 ml de solo inóculo e mais uma camada de 250 ml de areia esterilizada semeando *Urochloa brizantha* (60 a 80 sementes). Estes foram cultivados em casa de vegetação por 6 meses, com temperatura e iluminação

controladas e irrigação de acordo com 60% da capacidade de campo. A cada 15 dias, contados a partir da data do plantio, aplicou-se Solução de Hoagland, sem fósforo (P). Após 6 meses de cultivo armadilha realizou-se a extração de esporos de FMAs deste solo, seguindo a técnica de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), seguida de centrifugação em água e sacarose (50%). Posteriormente, foi realizada a contagem dos mesmos em uma placa canelada, seguida pela identificação morfológica das espécies de FMAs que estão descritas na tabela 2.

Tabela2 – FMAs recuperados nos cultivos armadilhas.

Família	Espécies de FMAs encontradas
Acaulosporaceae	<i>Acaulospora scrobiculata</i> <i>Acaulospora mellea</i>
Archaeosporaceae	<i>Archaeospora trappei</i>
Cetrasporaceae	<i>Cetraspora pellucida</i>
Funneliformiscae	<i>Funneliformis mosseae</i>
Glomeraceae	<i>Glomus sp.</i>
Septoglomuscae	<i>Septo glomus viscosum</i>
6 famílias	7 espécies

Fonte: SALES et al., (2017); dados ainda não publicados.

O solo inóculo de FMAs foi introduzido no sulco de plantio da fileira central (fileira de avaliação) de cada parcela, juntamente com a cana, na proporção de 400g de solo inóculo por metro linear, contendo aproximadamente 2.600 esporos de FMAs, além de hifas e raízes colonizadas que também atuam como propágulo de FMAs.

Em função de se observar os efeitos dos FMAs inoculados no plantio na primeira safra, não foi realizada a adubação de cobertura para segunda safra.

As amostragens de solo foram realizadas juntamente com o corte de cana. A primeira amostragem de solo foi realizada em novembro de 2015 e a segunda amostragem de solo em novembro de 2016. Foram coletadas amostras de 100g de solo próximo às raízes na parcela útil, em profundidade de 0-20 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos de plásticos, tomando-se cuidado com a higienização e desinfestação do instrumento de coleta para evitar possíveis contaminações de uma amostra para outra, armazenadas sob refrigeração a 4°C, até a realização das análises laboratoriais.

3.3 Carbono orgânico total e Nitrogênio total do solo

O Carbono Orgânico Total do Solo (COT) foi determinado por oxidação do dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, segundo a metodologia de Walkley e Black (1934).

O Nitrogênio total do solo foi determinado pelo método de Kjeldahl por destilação a vapor (EMBRAPA, 1997).

3.4 Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

A determinação do Carbono da biomassa microbiana (C-BM) foi realizada pelo método de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), que possui como princípio básico a extração do carbono microbiano após a morte dos microrganismos e lise celular, pelo ataque do clorofórmio e liberação dos constituintes celulares e extração com K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, oxidação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$ e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,0333 \text{ mol L}^{-1}$.

O Nitrogênio da biomassa microbiana também foi determinado pelo método de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), onde o N total foi determinado após redução do nitrato para amônio sob condições ácidas pela digestão de Kjeldahl (BROOKES et al., 1985).

3.5 Respiração microbiana e Quociente metabólico

A respiração microbiana foi estimada utilizando o método que mede o CO_2 evoluído durante a incubação por 3 dias do solo em sistema fechado. O CO_2 foi capturado em solução de NaOH ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$) que foi então titulado com HCl ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$) (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

O quociente metabólico foi determinado pela razão C- CO_2 liberado na respiração microbiana/C-BM (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

3.6 Atividades enzimáticas

A mensuração da atividade da β -glucosidase foi baseada na leitura em espectrofotômetro a 410 nm do p-nitrofenil- β -D-glucosideo resultante da atividade enzimática

da β -glucosidase, sendo o resultado expresso em μg de p-nitrofenol por grama de solo seco por hora (EIVAZI; TABATABAI, 1988).

A mensuração da atividade da fosfatase foi baseada na leitura em espectrofotômetro a 410 nm do p-nitrofenol resultante da atividade enzimática da fosfatase ácida, sendo o resultado expresso em μg de p-nitrofenol por grama de solo seco por hora, conforme metodologia descrita em Eivazi e Tabatabai (1977).

A quantificação da atividade da urease se baseia na determinação da amônia liberada após a incubação do solo com uma solução de ureia, por duas horas, a 37°C (TABATABAI; BREMNER, 1972).

A Atividade hidrolítica do diacetato de fluoresceína (FDA) foi estimada segundo Dick et al. (1996), sendo quantificada por espectrofotometria com comprimento de onda de 490 nm.

4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias dos tratamentos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). Realizou-se testes de correlação de Pearson (SigmaPlot 11.0).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis carbono da biomassa microbiana, qCO_2 , urease, β -glucosidase e hidrólise do diacetato de fluoresceína apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,05$) para os fatores isolados e para a interação entre as cultivares e inoculação de FMAs. Já as variáveis respiração microbiana do solo, carbono orgânico total, nitrogênio total do solo e fosfatase ácida apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,05$) somente para inoculação nas duas safras. Enquanto o nitrogênio da biomassa microbiana apresentou efeito significativo para os fatores isolados na primeira safra e somente para a inoculação com FMAs na segunda safra (ANEXO TABELA 1B).

5.1 Carbono orgânico total e Nitrogênio total do solo

Para o carbono orgânico total (COT), na primeira safra não houve diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os fatores estudados e nem na interação (ANEXO TABELA 1B). Na segunda safra observou-se efeito significativo na inoculação com FMAs (ANEXO TABELA 1B) e entre as cultivares (ANEXO TABELA 2B). Observou-se ainda na segunda safra, nos tratamentos inoculados com FMAs, que houve manutenção do teor de COT, enquanto que sem inoculação com FMAs percebeu-se o decréscimo de 20% (FIGURA 2).

Em estudo realizado por Almeida et al. (2016), os quais avaliaram o COT com 5, 7, 8 e 9 anos de cultivo de cana-de-açúcar irrigados e em área nativa adjacente aos cultivos, constatou-se que os teores de COT total variaram até $13,60 \text{ g kg}^{-1}$. Esses resultados corroboram com o presente estudo, onde os teores de COT encontrados variaram entre $10,6$ a $13,20 \text{ g kg}^{-1}$.

É comum encontrar teores mais elevados de carbono do solo sob cobertura com vegetação nativa do que em áreas cultivadas, como foi observado por Hickmann e Costa (2012) e Souza et al. (2006), que observaram teores mais elevados de C em áreas nativas, em comparação à pastagem, ao plantio direto e ao convencional. Os menores teores e estoques de C no cultivo convencional estão associados ao fato de que os resíduos incorporados ao solo são rapidamente decompostos, pois durante o preparo há maior aeração, aumento da temperatura na camada revolvida, ruptura dos agregados e consequente exposição da MOS à ação de microrganismos (COSTA et al., 2008).

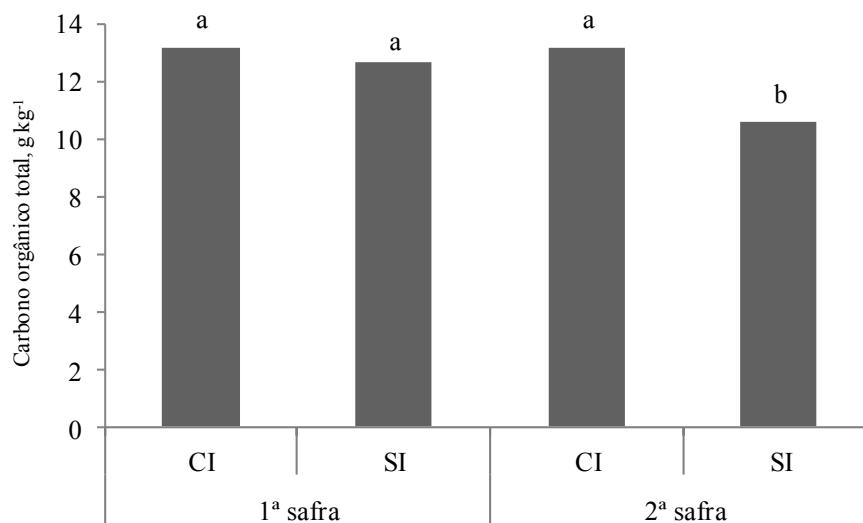
A manutenção do teor de COT nos tratamentos inoculados com FMAs é devido a fatores direta ou indiretamente influenciados pelos FMAs, uma vez que nesses tratamentos

houve a manutenção de maior COT em comparação aos tratamentos que não foram inoculados com FMAs.

Os fungos micorrízicos arbusculares podem contribuir com o aumento de COT no solo diretamente através de sua biomassa (hifas e micélio) e também pela liberação de glomalina, uma glicoproteína recalcitrante exsudada por suas hifas (RILLIG; STEINBERG, 2002), uma importante fonte de carbono persistente no solo. De forma indireta pelo aumento da massa radicular da planta pelo maior estímulo da rizodeposição e pela proteção física, através da agregação/estruturção do solo promovido pelas hifas extra radiculares (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006a).

No presente estudo, antes da implantação do experimento a área apresentava 24 g C kg^{-1} de solo, valor este obtido através do fator “van Bemmelen”, comumente utilizado para estimar o teor de carbono em solos, a partir da MO (CANTARELLA; QUAGGIO; VAN RAIJ, 2001). Depois de um ano, e devido ao preparo do solo, esse valor reduziu para em torno de 13 g C kg^{-1} de solo devido, principalmente, à aceleração do processo de decomposição provocada pela incorporação dos resíduos orgânicos no solo e quebra da estrutura do solo e exposição do COT nativo, que associados à correção do solo e a entrada de fertilizante aceleram o processo de decomposição pelos microrganismos do solo (PAUSTIAN et al., 1997).

Figura 2 - Efeito da inoculação com FMAs no teor de carbono orgânico total do solo nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).



Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada safra, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

Os teores de nitrogênio total do solo (N-total) na primeira safra variaram entre as cultivares e inoculação com FMAs não sendo observado efeito significativo ($p \leq 0,01$) na interação entre os fatores, enquanto que na segunda safra houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) entre as cultivares e na interação (ANEXOTABELA1B).

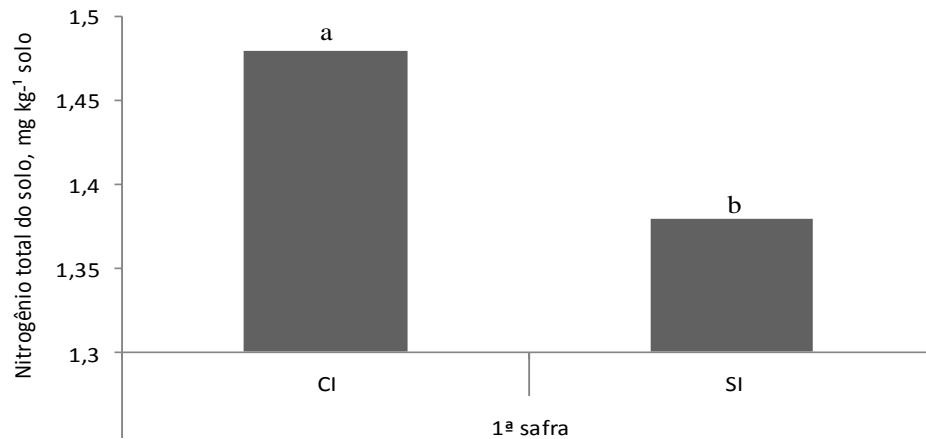
Na primeira safra observou-se que os tratamentos inoculados com FMAs incrementaram os teores de N-total no solo em aproximadamente 7% em relação aos tratamentos não inoculados (FIGURA 3), fato não observado na segunda safra. As cultivares CTC7 e CTC9, na segunda safra, apresentaram maiores teores de N-total em relação às demais cultivares quando inoculadas com FMAs. No entanto, não verificou-se efeito significativo entre as cultivares no tratamento sem inoculação com FMAs. A inoculação com FMAs somente apresentou efeito na cultivar CTC7 observando um incremento de 17% no N-total na segunda safra (TABELA 3).

Os resíduos vegetais que permanecem no local após a colheita da cana-de-açúcar entre os cultivos são fontes de nutrientes como o N, podendo aumentar os teores desse elemento no solo e a capacidade produtiva da cultura (OLIVEIRA et al., 2014).

Como descrito para o COT, a implantação da cultura promoveu perda de N-total, no entanto, esta redução foi menor para o tratamento inoculado com FMAs. Isso pode refletir na melhor nutrição, sanidade da planta e proporcionar aumento na produção.

Os valores observados neste estudo encontram-se coerentes com dados da literatura que relatam teores de N-total até $1,45 \text{ mg kg}^{-1}$ (LUCA et al., 2008), quando avaliadas áreas de um Latossolo Vermelho distroférico após três anos com o cultivo de cana-de-açúcar, o que corrobora com os resultados deste trabalho.

Figura 3 - Efeito da inoculação com FMAs no teor de nitrogênio total do solo na primeira safra de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).



Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
 Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

Tabela 3 - Nitrogênio total do solo em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares na segunda safra de cana-de-açúcar.

Cultivares	Nitrogênio total do solo (N-total) (mg kg ⁻¹ de solo)	
	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	1,43 bA	1,53 aA
CTC7	1,76 aA	1,50 aB
CTC9	1,72 aA	1,60 aA
CTC16	1,40 bA	1,43 aA
SP891115	1,50 bA	1,50 aA
RB925345	1,53 bA	1,63 aA
CV (%)	6,77	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

5.2 Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

Para o carbono da biomassa microbiana, nas duas safras houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) entre as cultivares, inoculação com FMAs e interação entre esses fatores (ANEXOTABELA 1B).

Na primeira safra observou-se que em todas cultivares a inoculação com FMAs incrementou o teor de carbono na biomassa microbiana, com exceção para CTC1 que não diferiu significativamente ($p \leq 0,01$) quando comparada ao tratamento sem inoculação de FMAs, sendo que na CTC16 observou-se o maior incremento com a inoculação de FMAs em torno de 68% (TABELA 4). A cultivar RB925345 foi a que apresentou maior C-BM diferindo significativamente das demais cultivares, independentemente da inoculação.

Na segunda safra todas as cultivares apresentaram maiores teores de C-BM quando inoculadas, diferindo significativamente dos tratamentos não inoculados com FMAs (TABELA 4), com destaque para as cultivares CTC7 e CTC9. Houve um incremento entre as cultivares inoculadas em comparação às não inoculadas, que variou de 66 a 147% para a CTC7 e CTC1, respectivamente.

Considerando as maiores diferenças entre os tratamentos inoculados e não inoculados com FMAs, na primeira safra a cultivar CTC16 foi de $246 \mu\text{g C g}^{-1}$ de solo e na segunda safra na CTC1 de $152 \mu\text{g C g}^{-1}$ de solo, significando um incremento de carbono imobilizado na biomassa microbiana de 492 e 304 kg C ha^{-1} , representando em torno de 5% da matéria orgânica do solo.

Segundo Granatstein et al. (1987), o carbono da biomassa microbiana diminui com o plantio convencional. Em contrapartida, para Silva Filho e Vidor (1984) ocorre um estímulo ao crescimento da população microbiana com o aumento temporário da aeração, causado pelo revolvimento do solo e disponibilidade de nutrientes pela quebra dos agregados e morte de parte da biomassa microbiana, que adiante é diminuída pela escassez de substrato orgânico.

Os aumentos nos teores de C-BM com a inoculação com FMAs mostram o efeito positivo desse manejo na biomassa microbiana do solo com cultivo de cana-de-açúcar. Os FMAs têm a capacidade de interagir com as comunidades microbianas do solo e inibir o desenvolvimento de certos grupos fúngicos e bacterianos no solo, ao mesmo tempo em que estimulam as taxas de decomposição do material orgânico do solo (GUILLET al., 2017). Em pesquisas realizadas por Raiesi e Ghollarata (2006) com trevo com e sem inoculação de FMAs, foi observada redução no C-BM nos tratamentos inoculados com FMAs, implicando em efeitos supressores na atividade microbiana no solo, fato não observado no presente estudo.

Outros estudos em distintas condições de uso e manejo no solo mostraram comportamento similar no C-BM inoculado com FMAs (CARDOSO et al., 2009; HUNGRIA et al., 2009). Cardoso et al. (2009) encontraram 184 mg C kg^{-1} solo na biomassa microbiana do solo em pastagem com braquiária sem pastejo por 19 anos. No entanto, no estudo de

Fialho et al. (2006) não foi observada diferença significativa nos valores de C-BM em áreas sob vegetação natural e com cultivo de bananeiras, as quais deixam um alto aporte de resíduos no solo, semelhante ao que acontece ao cultivo de cana-de-açúcar.

Tabela 4 - Carbono da biomassa microbiana do solo em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.

Cultivares	Carbono da biomassa microbiana (C-BM) ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo)			
	1ª safra		2ª safra	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	115,52 dA	98,66 bA	255,05 bA	103,56 cB
CTC7	214,73 cA	108,89 bB	303,72 aA	182,76 aB
CTC9	227,67 cA	105,26 bB	288,95 aA	148,18 bB
CTC16	362,58 bA	116,72 bB	212,11 cA	118,94 cB
SP891115	357,55 bA	262,53 aB	244,10 bA	145,26 bB
RB925345	443,76 aA	250,98 aB	207,75 cA	119,30 cB
CV (%)	13,09		5,81	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

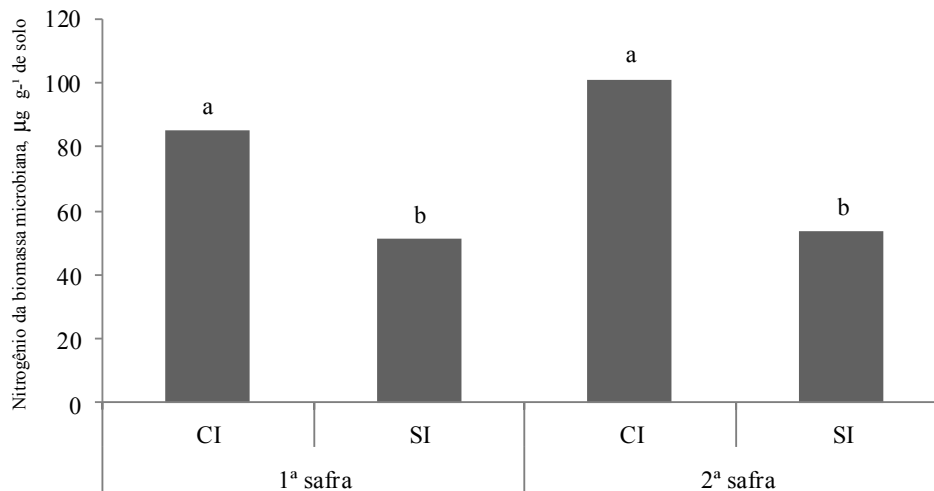
Na primeira safra o nitrogênio da biomassa microbiana apresentou efeito significativo ($p \leq 0,01$) na inoculação com FMAs (ANEXOTABELA 1B) e entre as cultivares (TABELA 5). Na segunda safra houve efeito significativo somente para a inoculação com FMAs (ANEXOTABELA 2B). Observou-se que a inoculação com FMAs incrementou no N da biomassa microbiana em 40% e 47% para primeira e segunda safra, respectivamente (FIGURA 4).

Considerando que a inoculação com FMAs, os resultados demonstraram os efeitos na fertilidade do solo, pois na rizosfera das plantas inoculadas encontrou-se 70 a 90 kg N imobilizados na biomassa microbiana na primeira e na segunda safra, respectivamente. Essa quantidade é suficiente para suprir as necessidades de N na cultura estudada, principalmente após o primeiro corte. Entretanto, deve-se salientar que nesse solo foi realizado cultivo convencional com manejo da fertilidade por muitos anos, o que influencia na melhoria de seus atributos químicos e biológicos.

Em estudo realizado por Franchini et al. (2007) foi constatado que o monocultivo não possui grande potencial de imobilização de nitrogênio no solo. No entanto, quando se faz rotação de culturas em que uma delas é leguminosa, o N-BM aumenta em relação a esse tipo

de cultivo. Esses resultados mostram a grande sensibilidade desse índice para mudanças no uso da terra, especialmente quando a mudança está relacionada ao monocultivo com cana-de-açúcar.

Figura 4 - Efeito da inoculação com FMAs no teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).



Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada safra, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

Tabela 5 - Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares na primeira safra de cana-de-açúcar.

Cultivares	Nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM) (µg g⁻¹ de solo)	
	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	99,63 aA	52,33 aB
CTC7	87,09 bA	51,98 aB
CTC9	88,04 bA	52,47 aB
CTC16	80,54 bA	52,59 aB
SP891115	74,89 bA	46,80 aB
RB925345	80,71 bA	51,45 aB
CV (%)	9,54	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

5.3 Respiração microbiana e Quociente metabólico (qCO_2)

Na primeira safra a respiração microbiana apresentou efeito significativo ($p \leq 0,01$) na inoculação com FMAs e entre as cultivares (ANEXOTABELA 1B). Na segunda safra houve efeito significativo somente para a inoculação com FMAs (ANEXOTABELA 1B). Também foram observados maiores valores nos tratamentos que receberam a inoculação com FMAs. As médias dos tratamentos com inoculação de FMAs foram 63% maiores do que os tratamentos sem inoculação na primeira safra. Já para a segunda safra a amplitude de variação foi de 53% (FIGURA 5).

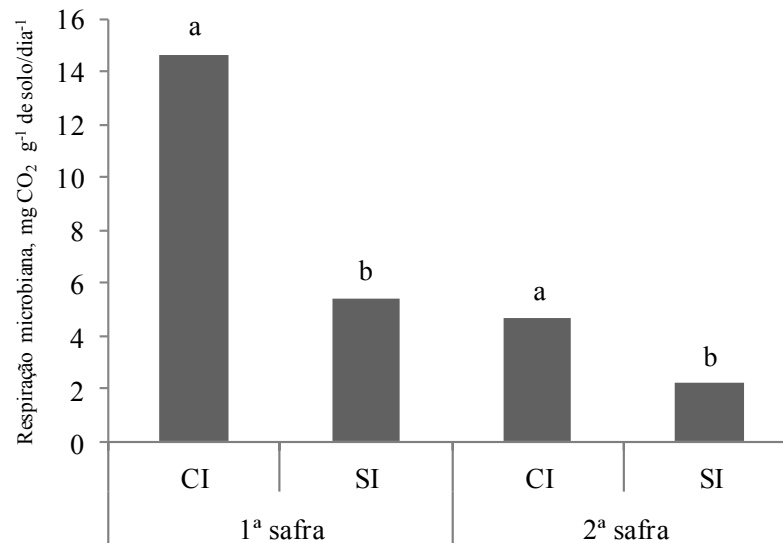
A respiração do solo é a oxidação biológica da matéria orgânica a CO_2 pelos microrganismos aeróbios, sendo muito importante, estando positivamente ligada a biomassa microbiana e ao conteúdo de matéria orgânica (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Os microrganismos respondem rapidamente a mudanças nas condições do solo, o que leva a grande variabilidade dos níveis da respiração do solo dependendo de fatores como a disponibilidade do substrato, umidade e temperatura (BROOKES et al., 1995).

A inoculação com FMAs aumentou a respiração do solo em ambas as safras. Na segunda safra observou-se um decréscimo na respiração, o que pode ter apontado uma maior estabilidade da microbiota deste solo. Raiesi e Ghollarata (2006) mostraram diminuições na respiração microbiana e no C da biomassa nos tratamentos inoculados com FMAs, implicando que a disponibilidade reduzida de C pode explicar os efeitos supressores da inoculação de FMAs na atividade microbiana.

O incremento dos valores de respiração microbiana após o preparo do solo está relacionado à disponibilidade de fontes de carbono via resíduos vegetais e exposição do carbono orgânico, o qual estava protegido e ao serem incorporados no solo são rapidamente decompostos (NASCIMENTO et al., 2009). Como aconteceu nesse experimento, na primeira safra houve o preparo mecânico do solo que aumenta a aração, e assim maior decomposição, apresentando maiores teores de respiração microbiana, já na segunda safra (cultivo da cana soca) houve diminuição nos teores de respiração.

Alves et al. (2011), após estudarem a influência dos vários sistemas na atividade microbiana, não observaram diferenças estatísticas em relação à respiração microbiana do solo nos tipos de manejo do solo, integração lavoura-agropecuária, vegetação nativa e vegetação nativa em recuperação.

Figura 5 - Respiração microbiana do solo em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).



Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada safra, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

Na avaliação do quociente metabólico (qCO_2) foi observado o efeito significativo entre as cultivares, nos tratamentos com e sem inoculação de FMAs e na interação entre os fatores (TABELA ANEXO 1B).

Na primeira safra, no tratamento com inoculação de FMAs, as cultivares CTC7 e CTC1 apresentaram os maiores valores de qCO_2 (TABELA 6). Na segunda safra foram observados os maiores valores de qCO_2 para a cultivar RB925345 no tratamento com inoculação de FMAs em comparação ao tratamento sem inoculação (TABELA 6).

Para esta variável, que quantifica o equilíbrio da comunidade microbiana em reflexo às mudanças no manejo no solo, a primeira safra apresentou maiores valores em detrimento da segunda, provavelmente, porque a comunidade atingiu um novo equilíbrio.

Os níveis de biomassa microbiana, aliadas à respiração do solo, mostram a quantidade de CO_2 evoluída por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico. O qCO_2 mostra a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, estimando a atividade biológica e a qualidade do substrato (SAVIOZZI et al., 2002)

O quociente metabólico é um importante fator na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a população microbiana do solo (ANDERSON; DOMSH, 1993) e os valores mais elevados são encontrados em condições ambientais estressantes, onde a biomassa microbiana gasta mais carbono para sua manutenção.

De acordo com, Gama-Rodrigues e Barros (1999), quanto maior a eficiência da biomassa microbiana menor é a quantidade de carbono que é perdido como CO₂ pela respiração, assim, solos com baixos níveis de qCO₂ estão próximos ao estado de equilíbrio. Porém, deve-se ficar atento a compreensão de resultados com relação ao quociente metabólico, onde somente de 15 a 30% da biomassa microbiana do solo é catabolicamente ativa (MACDONALD, 1986), pois o restante dessa biomassa microbiana está na forma inativa ou latente, com pequena atividade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006a). Dessa maneira, o cálculo do quociente metabólico leva em conta o COT e a biomassa microbiana do solo.

Em estudo realizado por Evangelista et al. (2012), relacionando atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional, foram apresentados valores mais elevados de qCO₂ entre 2,76 e 4,18 µg C-CO₂ h⁻¹/µg Cmic g⁻¹ de solo no plantio convencional, sendo indicativo de ecossistema submetido a alguma condição de estresse ou distúrbio, visualizado nesse estudo pelo manejo com utilização da queima da palha, onde após a queima do material orgânico do solo há uma grande mineralização e disponibilização de nutrientes, com grande redução da biomassa microbiana do solo. Provavelmente essa nova situação promoveu estresse na população microbiana do solo na tentativa de buscar o equilíbrio, aumentando assim níveis de respiração e consumo de energia para metabolização desses nutrientes, diferente do que ocorreu no presente estudo, onde não houve a queima da palha, possibilitando menores valores de qCO₂.

Tabela 6 - Quociente metabólico (qCO₂) em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.

Cultivares	Quociente metabólico (qCO ₂) (µg C-CO ₂ h ⁻¹ /µg Cmic g ⁻¹ de solo)			
	1ª safra		2ª safra	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	0,12 aA	0,05 aB	0,01 bA	0,01 aA
CTC7	0,14 aA	0,04 aB	0,01 bA	0,01 aA
CTC9	0,06 aA	0,05 aA	0,01 bA	0,01 aB
CTC16	0,03 bA	0,03 aA	0,02 aA	0,02 aA
SP891115	0,04 bA	0,02 aA	0,01 bA	0,01 aA
RB925345	0,03 bA	0,01 aA	0,02 aA	0,01 aB
CV (%)	33,84		14,86	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

5.4 Atividades enzimáticas

5.4.1 β -glucosidase

Nas duas safras houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) entre as cultivares, inoculação e interação entre esses fatores para a atividade da β -glucosidase (ANEXOTABELA 1B).

Na primeira safra, no tratamento com inoculação de FMAs, observou-se os maiores valores da β -glucosidase nas cultivares RB925345 e CTC7, já na ausência de inoculação as mesmas cultivares também apresentaram melhores resultados (TABELA 7). Na segunda safra observou-se a mesma tendência da primeira safra, acrescida da cultivar CTC9 no tratamento sem inoculação com FMAs (TABELA 7).

A inoculação com FMAs promoveu maior atividade da β -glucosidase nas cultivares CTC1, CTC16, SP891115 e RB925345 na primeira safra e em todas as cultivares na segunda safra em comparação aos tratamentos não inoculados (TABELA 7).

A β -glucosidase atua na última etapa do processo da decomposição da celulose, hidrolisando os resíduos da celobiose (TABATABAI, 1994). Como a celobiose é um dissacarídeo de decomposição rápida no solo, a sua maior atividade pode ser vista em áreas agrícolas, que pode estar relacionada à qualidade e quantidade de resíduo vegetal que é retornada ao solo (TABATABAI, 1994).

Evangelista et al. (2012), em trabalho avaliando a atividade da enzima β -glicosidase sob sistema de produção orgânico e convencional na cultura da cana-de-açúcar, apontaram que os menores níveis dessa atividade situados em torno de $20 \mu\text{g p-nitrofenol kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ foram observados na área de cana-de-açúcar em manejo convencional com queima de palhada, indicando que a colheita com o processo de queima promove rápida degradação da matéria orgânica do solo, não contribuindo para a atividade da enzima (MARCHIORI JÚNIOR; MELLO, 2000). Esse fato pode estar relacionado ao baixo nível de matéria orgânica, fonte de carbono mantido no solo, já que a enzima β -glicosidase está ligada ao ciclo deste elemento. Resultados esses, bem diferentes encontrados neste trabalho onde os valores obtidos foram mais elevados, o que pode estar relacionado também com a quantidade e qualidade do resíduo orgânico adicionado no solo, atenuando-se o fato de que não ocorre a queima da cultura para a colheita.

Vários trabalhos realizados em ambientes agrícolas do Cerrado têm mostrado o potencial da β -glucosidase como um dos indicadores mais favorável em avaliações de qualidade de solo por estar ligada a ciclagem do carbono orgânico e a matéria orgânica do

solo, não ser influenciável a fertilizantes inorgânicos e por ser de simples determinação e de baixo custo. Por atuar nas etapas finais do processo de decomposição da celulose, sua atividade tende a ser baixa em áreas do cerrado sob vegetação nativa, quando comparada a áreas sob cultivos agrícolas (MENDES et al., 2003, PEIXOTO et al., 2010), o que pode explicar os valores mais elevados obtidos neste trabalho em solo com o cultivo da cana-de-açúcar.

Tabela7 - Atividade da β -glucosidase em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.

Cultivares	β -glucosidase ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ de solo h^{-1})			
	1ª safra		2ª safra	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	240,21 cA	204,99 dB	325,18 bA	184,51 cB
CTC7	367,12 aA	355,75 aA	390,79 aA	301,89 aB
CTC9	286,66 bA	264,97 aA	330,77 bA	294,44 aB
CTC16	277,75 bA	230,79 cB	344,74 bA	190,10 cB
SP891115	283,17 bA	241,30 bB	341,95 bA	224,57 bB
RB925345	358,77 aA	273,41 bB	392,25 aA	277,67 aB
CV (%)	4,85		6,19	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

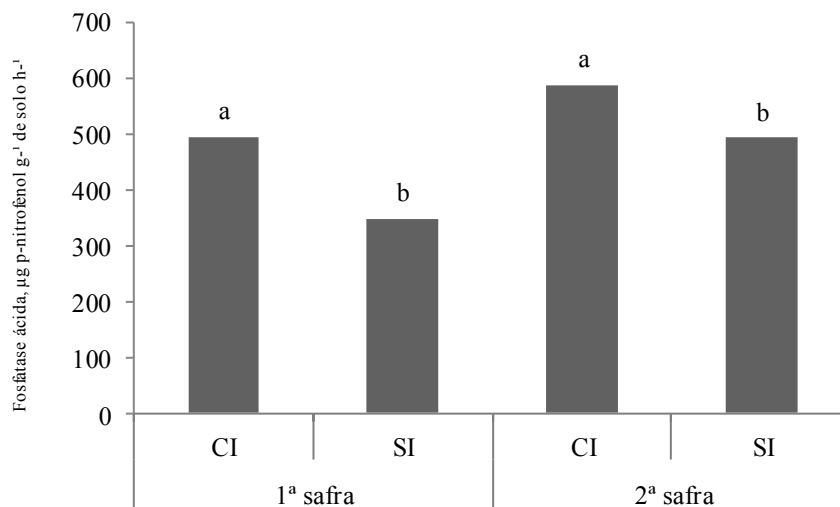
5.4.2 Fosfatase ácida

A fosfatase ácida apresentou efeito significativo ($p \leq 0,01$) nos tratamentos inoculados na primeira safra (ANEXOTABELA 1B). Na segunda safra houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) na inoculação com FMAs (ANEXOTABELA 1B) e entre as cultivares (ANEXOTABELA 2B), sendo observados maiores valores nos tratamentos inoculados com FMAs. Observou-se que a inoculação incrementou essa atividade enzimática em 30% na primeira safra e 16% na segunda safra (FIGURA 6).

A elevação da atividade da fosfatase ácida ocorre à medida que se tem o aumento da deficiência de fósforo (ASCENCIO, 1994). Segundo Santos (2008), os níveis desse nutriente no solo e a inoculação de FMAs interferem no desenvolvimento das plantas, onde os efeitos são específicos e dependentes das espécies vegetais. A absorção de nutrientes pelas plantas, principalmente de fósforo, aumenta ao ser associada à atividade dos FMAs (MOREIRA;

SIQUEIRA, 2006). Esses resultados fundamentam que a eficiência da associação e a efetividade dos FMAs variam em função das espécies de fungos e das espécies vegetais (JANOS, 1988).

Figura 6 - Atividade da fosfatase ácida em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar (CI: com inoculação de FMAs; SI: sem inoculação de FMAs).



Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada safra, não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

5.4.3 Urease

Na primeira e na segunda safra a atividade da enzima urease apresentou efeito significativo entre as cultivares e na interação da inoculação com FMAs (ANEXOTABELA 1B).

Na primeira safra, nos tratamentos inoculados com FMAs, todas as cultivares apresentaram atividade semelhante dessa enzima, exceto CTC1 e CTC7 que foram os mais baixos, já no tratamento sem inoculação as atividades da urease foram semelhantes, exceto para a CTC7 (TABELA 8). Na segunda safra observou-se a mesma tendência da primeira safra, onde os tratamentos inoculados apresentaram maior atividade da urease, sendo que as cultivares CTC9 e CTC16 apresentaram os maiores resultados (TABELA 8).

A urease é uma enzima sintetizada pelos microrganismos do solo, quanto melhor forem as condições do meio como pH, umidade, temperatura, biomassa e atividade microbiana, propriedades químicas do substrato (DICK; TABATABAI, 1999) maiores serão

seus teores. Dessa maneira, práticas de manejo que ajudem a promover o aumento da atividade desta enzima são muito importantes para a ciclagem do nitrogênio no solo.

Valores aproximados a $16,2 \mu\text{g NH}_4 \text{ g de solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ na atividade da urease foram encontrados em um Latossolo Vermelho de cerrado nativo (CARNEIRO et al., 2008), esse resultado difere dos valores encontrados neste trabalho que foram mais baixos, confirmando que as condições ambientais modificam a atividade dos microorganismos produtores de urease.

Tabela 8 - Atividade da urease em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.

Cultivares	UREASE ($\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ de solo h}^{-1}$)			
	1ª safra		2ª safra	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	9,20 bA	7,41 aA	8,13 cA	7,27 bA
CTC7	10,03 bA	5,54 bB	9,42 dA	5,22 aB
CTC9	11,06 aA	8,00 aB	11,20 aA	7,92 bB
CTC16	11,32 aA	9,66 aA	11,10 aA	9,60 aB
SP891115	11,44 aA	9,79 aA	10,93 bA	9,60 aA
RB925345	10,78 aA	10,41 aA	10,41 bA	9,60 aA
CV (%)	12,46		8,62	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

5.4.4 Hidrólise de diacetato de fluoresceína

Na primeira safra a atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) apresentou efeito significativo entre as cultivares com e sem inoculação de FMAs e na interação (ANEXOTABELA 1B).

A inoculação com FMAs no cultivo de cana-de-açúcar levou a maior FDA em ambas as safras. Na primeira safra a cultivar CTC1 apresentou maior FDA, tendo uma amplitude de 83% maior com inoculação do que sem inoculação (TABELA 9). Na segunda safra observou-se que não houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) entre as cultivares e que somente no tratamento sem a inoculação a cultivar CTC7 apresentou menor atividade da FDA do que quando foi inoculado com FMAs (TABELA 9).

A hidrólise do diacetato de fluoresceína é usada para quantificar as células ativas nos solos e para caracterizar a atividade microbiana do solo (SCHNÜRER; ROSWALL, 1982).

Seu aumento em resposta à inoculação de FMAs indica que estes podem estimular a comunidade microbiana do solo, o que provavelmente aconteceu com a CTC1 que levou a maiores valores da FDA no tratamento micorrizado (83%) em detrimento à mesma cultivar sem inoculação, na primeira safra (TABELA 9).

Chantigny, Angers e Beauchamp (2000) relataram valores próximos a 100 mg FDA $g^{-1} h^{-1}$ no solo seco após três anos de aplicação de 100 t ha^{-1} de biossólido, observando, com isso, melhorias na dinâmica da microbiota e influências positivas nos parâmetros microbiológicos do solo. Perucci (1992) observou valores de 30 a 100 mg FDA $g^{-1} h^{-1}$ no solo seco quando adicionou doses de 0 a 90 t ha^{-1} de composto de lixo urbano. Nota-se que nesses estudos, a atividade da FDA apresentou valores próximos aos obtidos no presente trabalho, o que pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela9 - Atividade da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) em resposta à inoculação de FMAs em diferentes cultivares nas duas safras de cana-de-açúcar.

Cultivares	Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) (mg FDA g^{-1} de solo/ h^{-1})			
	1ª safra		2ª safra	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	104,05 aA	18,14 dB	81,71 aA	57,99 aA
CTC7	70,55 dA	32,74 cB	102,13 aA	71,29 aB
CTC9	80,97 bA	42,60 bB	85,01 aA	83,52 aA
CTC16	21,26 eA	15,28 dB	83,41 aA	72,14 aA
SP891115	76,42 cA	53,30 aB	89,47 aA	72,46 aA
RB925345	74,04 dA	19,65 dB	86,81 aA	64,16 aA
CV (%)	4,80		17,55	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA).

5.5 Correlações entre os atributos bioquímicos do solo, colonização micorrízica e produtividade

As matrizes de correlação mostram existência de várias relações significativas entre os atributos bioquímicos do solo, a colonização micorrízica e a produtividade da cana-de-açúcar para ambas as safras de cultivos de cana-de-açúcar (TABELAS 5B e 6B). Os dados de produtividade destas safras estão contidos em Sales, L. R (dados não publicados).

Na primeira safra, a biomassa microbiana apresentou correlações positivas com a respiração basal, com as atividades das enzimas urease e fosfatase ácida e com a colonização micorrízica (TABELA 5B). Essa relação do C-BM com a CM aponta a atuação positiva que a inoculação com micorrizas possui na área e que influencia sobre o aumento da biomassa microbiana no solo, assim como foi observado por Andrade et al., 2004, onde a inoculação com esporos de micorrizas contribuiu para o aumento da biomassa microbiana do solo.

A respiração apresentou correlação positiva com a biomassa microbiana (C-BM, N-BM), com o N-total, com atividade enzimática total (FDA), com a FA, além da colonização e da produtividade da cana-de-açúcar (TABELA 5B). A correlação da respiração com a colonização micorrízica e com a biomassa microbiana aponta não o aumento do consumo de energia (consumo de carbono, decomposição), mas aumento da microbiota ativa no solo. A alta correlação entre a respiração e a FDA apontam a eficiência dessa atividade enzimática empregada como referência para quantificação da atividade microbiana global (DIACK, 1997; MEDEIROS et al., 2015).

O qCO_2 apresentou correlações negativas com C-BM e urease, entretanto correlacionou positivamente com a FDA (TABELA 5B).

O N-BM apresentou correlação positiva, na primeira safra, com N-total e não apresentando correlação com COT, demonstrando que as alterações nos teores de carbono orgânico total no solo não afetaram o N da biomassa microbiana. O N-BM apresentou alta correlação positiva com RESP, demonstrando o efeito do aumento da biomassa microbiana refletido também em sua atividade.

A CM apresentou correlações positivas com C-BM, RESP, N-total e β -glucos, confirmando a influência que a inoculação de FMAs teve sobre a microbiota do solo. Já a produtividade da primeira safra apresentou correlação com os atributos bioquímicos do solo, exceto com C-BM e urease. Dentre os atributos bioquímicos que a produtividade correlacionou-se, destaca-se FDA e RESP pelos maiores coeficientes, indicando efeito positivo do aumento da atividade microbiana sobre a produção da cana-de-açúcar, melhorada para as cultivares que receberam a inoculação de FMAs.

Quanto à segunda safra houve correlações positivas entre C-BM e RESP, COT, N-BM, β -glucos, FA, FDA e PROD (TABELA 6B). As maiores biomassas microbianas na segunda safra também foram encontradas nos tratamentos que receberam a inoculação com FMAs e, mesmo sem ter havido a reinoculação, no segundo ano de cultivo demonstrou efeitos na produtividade e nos atributos bioquímicos do solo.

A respiração microbiana do solo apresentou correlações com qCO_2 , COT, N-BM, β -glucos, FA e FDA na segunda safra (TABELA 6B). Apesar dos menores valores para a respiração, ela expressou de forma direta o aumento da atividade da microbiota do solo cultivado com cana-de-açúcar que recebeu a inoculação de FMAs. A maior atividade microbiana gerou melhoria em atributos bioquímicos do solo, mas seu maior efeito é visto no aumento da produtividade da cana-de-açúcar, que teve elevação de 42,15 % na segunda safra (TABELA 3B).

Os teores de COT no solo, durante a segunda safra, apresentaram correlações com N-BM, N-total, β -glucos, FA, PROD, sendo correlações positivas para ambas as variáveis. A β -glucosidase e a fosfatase ácida, nessa segunda safra, apresentaram correlações positivas com a maioria dos atributos bioquímicos e com a produtividade da cana, demonstrando a importância da avaliação dessas atividades enzimáticas em áreas agrícolas (MENDES et al. 2015).

A colonização micorrízica não apresentou correlação com nenhum atributo bioquímico do solo, nem com a produtividade (TABELA 6B). Esse resultado pode estar relacionado ao fato de não ter sido realizada a reinoculação na área de cultivo para o segundo ciclo, o que diminuiu a efetividade da colonização. Por esse aspecto observa-se que é necessário que sejam empregados manejos, como a inoculação dos esporos de FMAs, mesmo que nativos, para aumentar a efetiva colonização dos FMAs na raiz da cana-de-açúcar e trazer os benefícios na produção.

A produtividade da cana-de-açúcar durante a segunda safra apresentou correlações positivas com os atributos bioquímicos do solo, exceto qCO_2 , urease, FDA (TABELA 6B). Essa alta correlação entre a produtividade e os bioindicadores do solo apontam a importância da avaliação desses atributos do solo, uma vez que são sensíveis às práticas de manejo e respondem positivamente à produtividade, mesmo quando outros atributos não possam ser tão sensíveis em discriminar as mudanças ocorridas (MEDEIROS et al, 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação do sistema de cultivo da cana-de-açúcar exige a quebra da estrutura do solo, o que proporciona a exposição e degradação da matéria orgânica e, principalmente, a redução da microbiota do solo, especialmente dos microrganismos benéficos como os fungos micorrízicos arbusculares.

Este fato é demonstrado neste estudo quando introduziu-se a mesma população de FMAs aumentando sua densidade e, como consequência, observou-se maior incorporação de carbono e nitrogênio no solo e incrementos no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, além de verificar maior atividade de quase todas as enzimas avaliadas em solo inoculado com FMAs.

Com esses resultados demonstramos efeitos dos FMAs nas plantas de cana-de-açúcar atuando no incremento do sistema radicular, estimulando a exsudação/secreção de compostos orgânicos na rizosfera e na própria micorrizosfera.

As cultivares apresentaram comportamento distintos em função de suas características genéticas, sendo obtido os melhores resultados para a cultivar CTC7.

Outro ponto importante foi a redução de resposta da inoculação na segunda safra. Isso é devido, provavelmente, aos FMAs nativos presentes também nos tratamentos onde não houve inoculação com estes, os quais, com o desenvolvimento da cultura, esta população adquiriu condições para promover a colonização micorrízica e apresentou resultados semelhantes aos tratamentos onde houve inoculação com FMAs em algumas variáveis.

Os FMAs são biotróficos obrigatórios e, devido a isso, o custo do inoculante é muito caro, inviabilizando sua aplicação. No entanto, o manejo da população de FMAs nativa é de extrema importância, pois, conforme os resultados apresentados foram demonstrados efeitos benéficos da maior densidade de FMAs em culturas micotróficas. Ressalta-se a necessidade de mais estudos sobre os mecanismos envolvidos na incorporação de C e N no solo e do estímulo à comunidade microbiana do solo.

7 CONCLUSÕES

A cultura da cana-de-açúcar respondeu bem à inoculação com FMAs nas duas safras avaliadas.

A inoculação com FMAs no cultivo de cana-de-açúcar contribuiu positivamente para os atributos bioquímicos do solo avaliados, mostrando influências positivas nesta interação.

A interação entre as cultivares e a inoculação com FMAs foi benéfica em mais de 50% dos atributos bioquímicos do solo avaliados, sendo observados os melhores resultados para a cultivar CTC7.

REFERÊNCIAS

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

ALENCAR, F. C. N.; COSTA, J. L. S. Impacto da fungigação na biomassa e atividade microbológica dos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 33., 2000, Belém. **Anais...** Brasília: Fitopatologia Brasileira, 2000. p. 359.

ALMEIDA, L. S. et al. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Montes Claros, v. 51, n. 9, p. 1539-1547, set. 2016.

ALVES, T. D. S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 130, p. 211-216, out. 1980.

_____. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, [S.l.], v. 25, n. 3, p. 393-395, Mar. 1993.

ANDRADE, S. A. L. et al. Influence of lead additions on arbuscular mycorrhiza and *Rhizobium* symbioses under soybean plants. **Applied Soil Ecology**, [S.l.], v. 26, p. 123-131, 2004.

ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, [S.l.], v. 25, p. 1553-1564, 1994.

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

_____. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 17, p. 837-842, 1985.

CALDAS, C. et al. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1413-1421, out, 2012.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B. Determinação da MO. In: VAN RAIJ, B. et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. p. 173-180.

CARDOSO, E. L. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 631-637, jun. 2009.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas Cronos sequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 621-632, 2008.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, [S.l.], v. 5, p. 180-208, 2013.

CHANTIGNY, M. H.; ANGERS, D. A.; BEAUCHAMP, C. J. Active carbon pools and enzyme activities in soils amended with de-inking paper sludge. Can. **Biology and Fertility of Soils.**, [S.l.], v. 80, p. 99-105, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. - **Safra 2017/18-primeiro levantamento**, Brasília: Conab, 2017, 62 p.

COSTA, F. de S. et al. 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**, Viçosa, v. 32, p. 323-332, 2008.

D'ANDRÉA, A.F. et al.. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.

DIACK, M. **Relationships between soil biological and chemical characteristics and surface soil structural properties for use in soil quality**. 1997. 221 p. Tese (Doutorado) - West Lafayette, Purdue University, 1997.

DIAS, L. A. dos S. Biofuel plants species and the contribution of genetic improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [S.l.], v. 11, nesp., p. 16-26, 2011.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J.(Ed.). **Methods: for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 247-272.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soil enzymes. In: METTING JUNIOR, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology**. New York: Marcel Dekker. 1999. p. 95-127.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, [S.l.], v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.

_____. Phosphatases in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, [S.l.], v. 9, p. 167-172, 1977.
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_130_22122006154842.html>. Acesso em: 16 nov. 2016.

_____. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ESPINDOLA, J. A. A. et al. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com paspalum notatum em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 104-113, jan./dez. 2001.

EVANGELISTA, C. R. et al. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, jul. ago. 2012.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: versão 5.3: sistema de análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2011.

FIALHO, J. S. et al. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agrônoma**, [S.l.], v. 37, n. 3, p. 250-257, 2006.

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, p. 18-29, Oct. 2007.

GAI, J. et al. Infectivity and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi from different soil depths in intensively managed agricultural ecosystems. **Journal of Soils and Sediments**, [S.l.], p. 1-12, 2015.

GAI, J. et al. Twenty years of research on community composition and species distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in China: a review. **Mycorrhiza**, [S.l.], v. 16, n. 4, p. 229-239, jun. 2006.

GALDOS, M. V. **Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. 2007. 102 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 361-365, 1997.

GERDEMANN, J. N.; NICOLSON, T. H. Spore of mycorrhizal endogon species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of British Mycorrhizal Society**, Cambridge, v. 46, p. 235-244, 1963.

GRANATSTEIN, D. M. et al. Long-term tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 5, n. 3, p. 265-270, 1987.

GUI, H. et al. Arbuscular mycorrhiza enhance the rate of litter decomposition while inhibiting soil microbial community development. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 7, n. 42184, 2017.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 20, n. 6, p. 777-786, 1988.

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

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. *The water-culture method for growing plants without soil*. Berkeley: College of Agriculture, 1950. 32 p. (Circular 347).

HUNGRIA, M. et al. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, [S.l.], v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

JANOS, D. P. Mycorrhiza applications in tropical forestry are temperate-zone approaches appropriate? In.: NG, F. S. P. (Ed.). **Trees and mycorrhiza**. Kuala Lumpur: Forest Research Institute, 1988. p. 133-188.

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

KOIDE, R. T.; MOSSE, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 145-163, 2004.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, 1999.

LUCA, E. F. et al. Evaluation of physical properties and soil carbon and nitrogen stocks as affected by burning or Green trash management of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 789-800, 2008.

MACDONALD, R. M. Extration of microorganisms from soil. **Biological Agriculture Horticulture**, Bicester, v. 3, n. 4, p. 361-365, 1986.

MACIEL, M. M. F. et al. Biomassa microbiana de solos sob vegetação de cerrado e diferentes usos agrícolas em Planaltina (DF). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DO SOLO, 13., Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. 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. 1177-1182, 2000.

MARIN, F. R. **Cana-de-açúcar**. Brasília: EMBRAPA, 2005. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_10_711200516716.html>. Acesso em: 15 jan. 2017.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 14, n. 5, p. 469-475, 1982.

MATSUOKA, M. **Atributos biológicos de solo cultivados com videira na região da Serra Gaúcha**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MEDEIROS, E. V. et al. Absolute and specific enzymatic activities of sandy entisol from tropical dry forest, monoculture and intercropping areas. **Soil & Tillage Research**, [S.l.], v. 145, p. 208-215, 2015.

MENDES, I. C. et al. **Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 5 p.

MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MERCANTE, F. M. et al. Alterações na biomassa microbiana do solo submetido a diferentes sistemas de manejo e rotações/sucessões de culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. CD-ROM.

MINHONI, M. T. A.; EIRA, A. F.; CARDOSO, E. J. B. N. Efeito da adição de N E P sobre a decomposição de diferentes tipos de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 297-304, 1990.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Brasil projeções do agronegócio 2011/2012 a 2021/2022. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/Projecoes%20do%20Agronegocio%20Brasil%202011-2012%20a%202021-2022%20\(2\)\(1\).pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/Projecoes%20do%20Agronegocio%20Brasil%202011-2012%20a%202021-2022%20(2)(1).pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2015.

MOHAN, J. E. et al. Mycorrhizal fungi mediation of terrestrial ecosystem responses to global change: mini-review. **Fungal Ecology**, [S.l.], v. 10, p. 3-19, 2014.

MORAES, M. A. F. D.; ZILBERMAN, D. **Production of ethanol from sugarcane in Brazil**. Londres: Springer, 2014. 212 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Micorriza. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006b. p. 543-716.

_____. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625 p.

_____. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006a. 744 p.

NARITOMI, J. **Herança colonial, instituições & desenvolvimento: um estudo sobre a desigualdade entre os municípios Brasileiros**. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

NASCIMENTO, J. B. et al. Determinação da biomassa e atividade microbiana do solo sob cultivo orgânico do feijoeiro-comum em sistemas de plantio direto e convencional após cultivo de diferentes espécies de adubos verdes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, 2009.

OLIVEIRA, A. P. P. et al. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 939-947, 2014.

OLIVEIRA, J. R. A. **O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-C e na atividade biológica de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado**. 2000. 115 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

PAUSTIAN, K. et al. Agricultural soil as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use Management**, Wallingford, v. 13, p. 230-244, 1997.

PEIXOTO, R. S. et al. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 98, p. 403-413, 2010.

PERUCCI, P. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. **Biology and Fertility of Soils**, [S.l.], v. 14, p. 54- 60, 1992.

QUEREJETA, J.; EGERTON-WARBURTON, L. M.; ALLEN, M. F. Topographic position modulates the mycorrhizal response of oak trees to interannual rainfall variability. **Ecology**, [S.l.], v. 90, n. 3, p. 649-662, Mar. 2009.

QUILLOY, O. T.; LANSANG, P. F. Effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) in promoting growth and yield of sugarcane. **Philippine Sugar Quarterly**, Quezon, v. 3, n. 1, p. 1- 7, 1992.

RAIESI, F.; GHOLLARATA, M. Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil. **Pedobiologia**, [S.l.], v. 50, p. 413-425. 2006.

REDDY, C. N. et al. Infectivity and efficacy of four native vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on sugarcane. **Mycorrhiza News**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 9-12, 2004.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO - RIDESA. **Liberación nacional de novas variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Ridesa: Curitiba, 2010. 64 p.

REIS, V. M.; PAULA, M. A.; DÖBEREINER, J. Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1933-1941, 1999.

REVISTA CTC Canavieira, 2012. Disponível em: <<http://www.ctc.canavieira.com.br/downloads.html>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 34, p. 1371-1374, 2002.

RUY, R. **Indicadores microbiológicos e bioquímicos de qualidade em solo de baixa fertilidade natural que recebeu calagem e adubação fosfatada**. Embrapa Soja- 2015.

SALES, L. R. et al. Seleção de cultivares de cana-de-açúcar potenciais para o município de Lavras - sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeo Ambiental**, Pouso Alegre, v. 8, n. 1, p. 97-109, mar. 2016.

SANTOS, J. G. D. **Riqueza dos fungos micorrízicos arbusculares no solo e o crescimento inicial de espécies arbóreas nativas**. 2008. 80 p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SAVIOZZI, A. et al. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

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

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. As práticas de manejo de solo na população microbiana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 5, p. 291-296, 1984.

SILVA, W. F. da. **O avanço do setor sucro energético no cerrado: os impactos da expansão canavieira na dinâmica sócio espacial de Jataí (GO)**. 2011. 230 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2011.

SILVEIRA, O. A. de. **Atividades enzimáticas como indicadores biológicos de solos agrícolas do Rio Grande do Sul**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,

SINGH, J. S.; PANDEY, V. C. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 140, p. 339–353, 2011.

SINGH, S.; SINGH, J. S. Microbial biomass associated with water-stable aggregates in forest, savanna and crop and soil of a seasonally dry tropical region, India. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 27, p. 1027-1033, 1995.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. ed. London: Academic Press, 2008. 785 p.

_____. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1996. 605 p.

SOUZA, A. P. et al. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. **Plant, Cell & Environment**, Maringá v. 31, n. 3, p. 1116-1127, 2008.

SOUZA, E. D. et al. 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**, [S.l.], v. 28, p. 323-329, July/Sept. 2006.

SPADOTTO, C. A. et al. **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos**: princípios e recomendações. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 29 p. (Documentos, 42).

SUREDAN, U.; VANI, D. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in sugar cane productivity under semiarid tropical agro ecosystem in Índia. **International Journal of Plant Production**, [S.l.], v. 7, 2013.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. (Ed.). **Methods of soil analysis**: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 778-835. (Special Publication, 5).

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Assay of urease activity in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Iowa, v. 4, p. 479-487, Mar. 1972.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Especiais em Ciências do Solo**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 196-275, 2002.

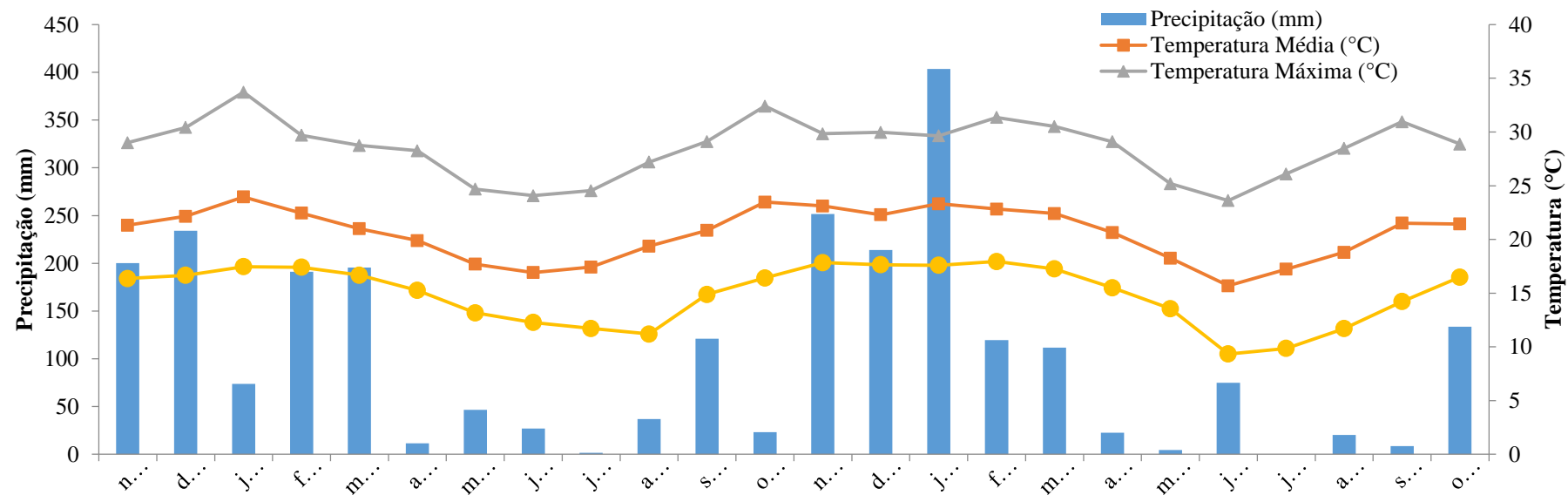
VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

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

ANEXOS

ANEXO A

Figura 1A - Variação mensal da precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média do ar entre os meses de novembro de 2014 e outubro de 2016 no município de Lavras/MG.



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2017).

ANEXO B

Tabela 1B - Análise de Variância dos atributos bioquímicos do solo na cultura na cana-de-açúcar inoculados com FMAs nas duas safras de cana-de-açúcar.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO										
		Primeira safra										
		¹ COT	² N-total	³ C-BM	⁴ N-BM	⁵ RESP	⁶ qCO ₂	⁷ β – glucos	⁸ FA	Urease	⁹ FDA	¹⁰ CM
Cultivar (C)	5	0,0144 ^{ns}	0,02*	52429,98*	153,37*	5,82*	0,0051*	14637,48*	28401,70 ^{ns}	9,33*	1798,74*	771,67*
Inoculação (I)	1	0,0182 ^{ns}	0,100*	80398,7*	10330,68*	764,33*	0,0136*	2143,69*	192469,38*	2,03 ^{ns}	15076,56*	617,85*
C x I	5	0,0292 ^{ns}	0,007 ^{ns}	23853,72*	82,42 ^{ns}	2,27 ^{ns}	0,0025*	3496,52*	40777,05 ^{ns}	11,09*	1127,75*	145,10 ^{ns}
Bloco	2	0,0297 ^{ns}	0,001 ^{ns}	462,53 ^{ns}	22,52 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	50,82 ^{ns}	7252,44 ^{ns}	1,14 ^{ns}	10,02 ^{ns}	10,17 ^{ns}
Erro	22	0,0158	0,004	844,53	42,37	1,79	0,0003	187,45	19913,52	1,41	5,92	73,82
CV (%)		9,66	4,85	13,09	9,54	13,31	33,84	4,85	33,45	12,46	4,80	12,63
Segunda safra												
Cultivar (C)	5	0,0505*	0,05*	48822,83*	276,08 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,00*	8290,33*	4529,04*	10,82*	225,90 ^{ns}	1128,88*
Inoculação (I)	1	0,6006*	0,005 ^{ns}	982031,45*	20308,62*	55,00*	0,00*	106441,23*	80729,85*	1,45 ^{ns}	951,31*	474,94*
C x I	5	0,0109 ^{ns}	0,03*	8502,12*	166,01 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,00*	2661,28*	1039,22 ^{ns}	9,85*	543,47*	91,91 ^{ns}
		0,0088 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2446,49 ^{ns}	129,45 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,00 ^{ns}	226,30 ^{ns}	2386,67 ^{ns}	0,00 ^{ns}	292,76 ^{ns}	28,54 ^{ns}
Erro	22	0,0099	0,01	1038,63	146,49	0,44	0,00	344,95	1570,43	0,62	193,13	47,89
CV (%)		8,33	6,77	5,81	15,63	19,38	14,86	6,19	7,34	8,62	17,55	20,71

*Significativo a 5%; ns (não significativo).

¹COT (carbono orgânico total); ²N-total (nitrogênio total do solo); ³C-BM (carbono da biomassa microbiana do solo); ⁴N-BM (nitrogênio da biomassa microbiana do solo); ⁵RESP (respiração microbiana); ⁶qCO₂ (quociente metabólico); ⁷β-glucos (β-glucosidase); ⁸FA (fosfatase ácida); ⁹FDA (hidrólise do diacetato de fluoresceína); ¹⁰CM (colonização micorrízica).

Tabela 2B – Médias dos atributos bioquímicos que tiveram efeito significativo entre as cultivares de cana-de-açúcar.

Cultivares	1ª safra			2ª safra			
	¹ RESP	² N-BM	³ qCO ₂	⁴ COT	⁵ N-total	⁶ FA	qCO ₂
CTC1	9,65 b	75,98 a	0,08 a	1,17 b	1,48 b	543,25 b	0,01 b
CTC7	11,64 a	69,54 a	0,09 a	1,27 a	1,63 a	521,55 b	0,01 b
CTC9	10,20 a	70,25 a	0,06 b	1,33 a	1,66 a	583,68 a	0,01 b
CTC16	9,31 b	66,57 a	0,03 c	1,07 b	1,41 b	558,44 a	0,02 a
SP89-1115	10,58 a	60,85 b	0,03 c	1,15 b	1,50 b	520,43 b	0,01 b
RB925345	8,91 b	66,08 a	0,02 c	1,17 b	1,58 a	511,86 b	0,01 a
CV (%)	13,31	9,54	33,84	8,33	6,77	7,34	14,86

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knotta 1% de probabilidade.

¹RESP (respiração microbiana); ²N-BM (nitrogênio da biomassa microbiana do solo); ³qCO₂ (quociente metabólico); ⁴COT (carbono orgânico total); ⁵N-total (nitrogênio total do solo); ⁶FA (fosfatase ácida).

Tabela3B - Produtividade das cultivares de cana-de-açúcar em relação à inoculação de FMA's.

Cultivares	Tonelada de Colmo por hectare (TCH) (ton.ha ⁻¹)			
	1ª safra		2ª safra	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
CTC1	56,37 cA	24,69 dB	38,95 cA	22,96 dB
CTC7	104,6 aA	59,65 bB	71,53 bA	70,49 bA
CTC9	107,02 aA	86,48 aB	66,46 bB	83,58 aA
CTC16	52,63 cA	42,21 cB	48,00 cA	45,38 cA
SP89115	78,59 bA	79,59 aA	62,38 bA	65,26 bA
RB925345	47,82 cA	48,42 cA	82,00 aA	47,43 cB
CV (%)	8,5		11,23	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 4B – Médias de colonização micorrízica em diferentes cultivares de cana-de-açúcar.

Colonização micorrízica (%)		
Cultivares	1ª safra	2ª safra
CTC1	47,45 c	59,62 a
CTC7	76,49 a	24,53 c
CTC9	63,88 b	36,11 b
CTC16	74,18 a	25,04 c
SP891115	77,65 a	23,76 c
RB925345	68,66 b	31,42 b
Inoculação		
Com inoculação	72,20 a	37,05 a
Sem inoculação	63,91 b	29,78 b
CV (%)	12,63	20,71

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 5B- Correlação de Pearson entre os atributos estudados na primeira safra de cana-de-açúcar.

	² RESP	³ qCO ₂	⁴ COT	⁵ N-BM	⁶ N-total	Urease	⁷ β-glucos	⁸ FA	⁹ FDA	¹⁰ CM	¹¹ PROD
¹ C-BM	0,37*	-0,46**	-	-	-	0,55**	-	0,38*	-	0,42**	-
RESP		0,57**	-	0,84**	0,56**	-	-	0,53**	0,73**	0,37*	0,48**
qCO ₂			-	0,61**	0,41*	-0,67**	-	-	0,57**	-	0,42*
COT				-	-	-	-	-	-	-	0,24*
N-BM					0,51**	-	-	0,33*	0,73**	-	0,34*
N-total						-0,26	0,38*	-	-	0,39*	0,33*
Urease							-	-	-	-	-
β-glucos								-	-	0,50**	-
FA									0,38*	-	0,40*
FDA										-	0,50**
CM											0,39*

*Significativo a 5%.; ** Significativo a 1%.

¹C-BM (carbono da biomassa microbiana do solo); ²RESP (respiração microbiana); ³qCO₂ (quociente metabólico); ⁴COT (carbono orgânico total); ⁵N-BM (nitrogênio da biomassa microbiana do solo); ⁶N-total (nitrogênio total do solo); ⁷β-glucos (β-glucosidase); ⁸FA (fosfatase ácida); ⁹FDA (hidrólise do diacetato de fluoresceína); ¹⁰CM (colonização micorrízica); ¹¹Produtividade.

Tabela 6B - Correlação de Pearson entre os atributos estudados na segunda safra de cana-de-açúcar.

	² RESP	³ qCO ₂	⁴ COT	⁵ N-BM	⁶ N-total	Urease	⁷ β-glucos	⁸ FA	⁹ FDA	¹⁰ CM	¹¹ PROD
¹ C-BM	0,86**	-	0,81**	0,85**	-	-	0,78**	0,64**	0,45**	-	0,57**
RESP		0,61**	0,79**	0,87**	-	-	0,72**	0,62**	-	-	0,46**
qCO ₂			-	0,36*	-	-	-	-	-	-	-
COT				0,80**	0,43**	-	0,69**	0,60**	-	-	0,56**
N-BM					-	-	0,71**	0,69**	0,33*	0,38*	0,42**
N-total						-	-	-	-	-	0,48**
Urease							-	-	-	-	-
β-glucos								0,48**	-	-	0,49**
FA									-	-	0,38*
FDA										-	-
CM											-

*Significativo a 5%.; ** Significativo a 1%. ¹C-BM (carbono da biomassa microbiana do solo); ²RESP (respiração microbiana); ³qCO₂ (quociente metabólico); ⁴COT (carbono orgânico total); ⁵N-BM (nitrogênio da biomassa microbiana do solo); ⁶N-total (nitrogênio total do solo); ⁷β-glucos (β-glucosidase); ⁸FA (fosfatase ácida); ⁹FDA (hidrólise do diacetato de fluoresceína); ¹⁰CM (colonização micorrízica); ¹¹Produtividade.