



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICIAG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MINERALIZAÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITO DA
INCORPORAÇÃO, DA ADIÇÃO DE NITROGÊNIO E DA TEMPERATURA

RISELY FERRAZ DE ALMEIDA

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

RISELY FERRAZ DE ALMEIDA

MINERALIZAÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITO DA
INCORPORAÇÃO, DA ADIÇÃO DE NITROGÊNIO E DA TEMPERATURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Solos, para obtenção do título de
“Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Beno Wendling

Coorientador

Prof. Dr. Bruno Teixeira Ribeiro

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A447 m 2014 Almeida, Risely Ferraz de, 1986-
Mineralização da palhada de cana-de-açúcar: efeito da
incorporação,
da adição de nitrogênio e da temperatura / Risely Ferraz de
Almeida. -- 2014.
49 f. : il.

Orientador: Beno Wendling.

Coorientador: Bruno Teixeira Ribeiro.

Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Matéria orgânica - Teses. 3.
Cana-de-açúcar - Teses. Efeito estufa (Atmosfera) - Teses. I. Wendling,
Beno. II. Ribeiro, Bruno Teixeira. III. Universidade Federal
de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU:

RISELY FERRAZ DE ALMEIDA

MINERALIZAÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITO DA
INCORPORAÇÃO, DA ADIÇÃO DE NITROGÊNIO E DA TEMPERATURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área
de concentração em solos, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2014

Prof. ^a Dr. ^a Lucélia Alves Ramos	UFU
Prof. Dr. Luis Augusto da Silva Domingues	IFTM
Prof. Dr. Bruno Teixeira Ribeiro	UFU
Prof. Dr. Alcides Gatto	UNB

Prof. Dr. Beno Wendling
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

A minha família por ser o pilar da minha existência
com muito amor, gratidão e respeito,

OFEREÇO

Aos meus amigos, por serem a família que escolhi,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela oportunidade de estar aqui novamente e por me proteger em todos os momentos.

Ao meu berço familiar, em especial a minha mãe (Rhonda) e irmãos (Victor e Randler) pelo companheirismo de “várias vidas”. **Amo vocês!**

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU), e ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) desta instituição, que me concederam o privilégio desta oportunidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio a esta pesquisa.

Ao Professor e orientador Beno Wendling, pela paciência, dedicação, ensinamentos, orientação e amizade. Sou muito grata pela oportunidade que mudou a minha vida.

Aos professores, Elias Borges Nascente, Eduardo Sá Mendonça, Isabel Cristina Vinhal Freitas, Bruno Teixeira Ribeiro e Adão de Siqueira Ferreira, pela amizade, orientações e ensinamentos transmitidos.

A todos os funcionários do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), em especial ao Marco Aurélio pela ajuda e amizade.

Às minhas amigas de “república” que estiveram ao meu lado, nos momentos de estudo e de lazer.

Aos meus velhos amigos de espírito, em especial a Bruna, Scheyla, Fernanda, Henrique, Emmanuel, Mariana e “Camilinda”. E também aos meus novos amigos, em especial Robertinha, Joseph, Fernando, Herick, Givago, Everton, Reinaldo Silva, Reinaldo Pimentel e outros.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram na realização deste trabalho.

Que Deus lhes seja grato.

Meu MUITO OBRIGADA, com muita LUZ e AXÉ.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Risely Ferraz de Almeida, baiana de Vitória da Conquista/BA, filha de Rhonda Ferraz Almeida e Valtenor Ferreira de Almeida, cursou o ensino médio e fundamental no Colégio Estadual Orlando Spínola (CEOS) no município de Cândido Sales/BA.

Em 2005, ingressou no curso Técnico em Meio Ambiente no Instituto Federal de Tecnologia da Bahia (IFBA). No ano seguinte, também ingressou na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) para cursar o curso de Engenharia Agrônômica, diplomada em 2011.

Em março de 2012, iniciou o mestrado em Agronomia pelo Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na área de Ciências do solo, a defender o título nesta ocasião.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUÇÃO GERAL	01
CAPÍTULO 1. EMISSÃO DE C-CO₂ EM SOLO INCUBADO COM RESÍDUO DA CANA-DE-AÇÚCAR E ADUBAÇÃO NITROGENADA	
Resumo.....	3
Abstract.	3
1. Introdução.....	4
2. Materiais e Métodos.....	5
3. Resultados e Discussão.....	9
4. Conclusões.....	18
5. Referências.....	19
CAPÍTULO 2. MINERALIZAÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLOS INCUBADOS COM DISTINTAS TEMPERATURAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA	
Resumo.....	23
Abstract	23
1. Introdução.....	24
2. Materiais e Métodos.....	25
3 Resultados e Discussão.....	29
4. Conclusões.....	35
5. Referências.....	36

RESUMO

ALMEIDA, RISELY FERRAZ DE. **Mineralização da palhada de cana-de-açúcar: efeito da incorporação, da adição de nitrogênio e da temperatura.** 2014. 49 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

No Brasil, encontra-se em expansão o cultivo de cana-de-açúcar com colheita mecanizada, principalmente na região sudeste. Com a deposição da palhada na superfície do solo ocorre uma alta concentração de matéria seca. Uma vez, que a palhada não pode ser mais eliminada com o uso de fogo como método despalhador e facilitador do corte da cana-de-açúcar, de acordo com decreto n°. 11.241, 20004. A relação desta palhada com o solo e a identificação dos diferentes aportes do carbono (C) com a emissão de C-CO₂ (dióxido de carbono) tem levado a questionamentos sobre o papel do C no solo e importância da agricultura na emissão de gases de efeito estufa - GEE. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar os aportes do carbono e emissão de C-CO₂ em solo incubado com resíduo da cana-de-açúcar (manejo superficial e incorporado) e adubação nitrogenada (0 kg N ha⁻¹ e 120 kg N ha⁻¹) em distintas temperaturas (20°, 25° e 30 ° C). Verificando que a palhada incorporada e a adição de N ao solo propiciam maiores taxas de mineralização do COT, respectivamente 12,24 e 2,14% em relação aos manejos com a palhada não incorporada e sem adição de N. No entanto, para o COT e o C da fração Humina (C-HU) não houve distinção aos 79 dias após incubação (DAI) dos solos. A emissão de C-CO₂ apresentou um ápice nos primeiros 4 (quatro) dias de incubação para os manejos com a palhada superficial de 5,45; 10,82; 14,00; 11,92 µg mol de C-CO₂ solo m⁻² s⁻¹ e incorporada 11,20; 14,47; 15,98; 14,74 C-CO₂ m⁻² s⁻¹, com um posterior decréscimo na emissão até a estabilidade a partir do 40° DAI. Também ocorre acréscimo de 6,89 % de N no solo com a incorporação da palhada de cana-de-açúcar quando comparada com o manejo superficial. Maiores acréscimos de N total também foram obtidos na palhada da cana-de-açúcar, principalmente quando incorporada e consorciada com a adubação nitrogenada. Não houve efeito dos tratamentos sobre os teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), carbono lábil (C-lábil), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e fósforo (P).

Palavras-chaves: palhada; matéria orgânica; carbono; gases de efeito estufa

¹ - Comitê Orientador: Dr. Beno Wendling (Orientador – UFU)

ALMEIDA, RISELY FERRAZ DE. **Mineralization of sugarcane trash: effect of incorporation, nitrogen and temperature.** 2014. 49 f. Dissertation (Masters degree in Agriculture/Soil Sciences) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Brazil is expanding sugar cane cultivation with mechanized harvesting, mainly in the Southeast, resulting in the deposition of large amount of straw dry mass on the soil. Such trash cannot be eliminated with prescribed fire, not even as a facilitator of manual sugar cane harvest, according to the decree 11.241, 20004. The relation of straw with soil and the identification of different carbon © additions with C-CO₂ (carbon dioxide) emission has raised questions about the role of soil C and the importance of agriculture on the emission of greenhouse effect gases. Therefore, this study determined the addition of carbon and C-CO₂ emission in soil incubated with sugarcane trash (surface or incorporated management) and nitrogen fertilization (0 Kg N ha⁻¹ or 120 Kg N ha⁻¹) in different temperatures (20, 25 or 30° C). It was observed that incorporated trash and N addition to soil resulted in greater mineralization rates of COT, respectively 12.24 and 2.14% in relation to non incorporated and with no N added trash management. However, no differences were observed between COT and C from humine fraction (C-HU) after 79 days of soil incubation. Emission of C-CO₂ peaked in the first four days of incubation for surface trash management, with 5.45, 10.82, 14.00, 11.92 µg mol C-CO₂ soil m⁻² s⁻¹ and incorporated with 11.20, 14.47, 15.98, 14.74 C-CO₂ m⁻² s⁻¹, with subsequent decrease in emission until becoming stable after 40 days of incubation. Also, there was an increase of soil N by 6.89% after trash incorporation, in comparison to surface management. Greater additions of total N, were obtained for sugarcane trash, especially after incorporation coupled to nitrogen fertilization. There was no effect of treatments on carbon contents in soil microbial biomass (C-BMS), labile carbon (C-labile), calcium (Ca⁺²), magnesium (Mg⁺²) and phosphorus (P).

Keywords: trash; organic matter; carbon; greenhouse effect gases

¹ Supervisor: Dr. Beno Wendling (UFU)

INTRODUÇÃO GERAL

A identificação e correlação dos diferentes aportes do carbono (C), assim como a relação com a emissão de C-CO₂ (dióxido de carbono) do solo tem levado a questionamentos sobre o papel do C no solo e a importância da agricultura na emissão de gases de efeito estufa (GEE), consequentemente sua relação como dreno ou fluxo de C-CO₂ para a atmosfera.

Nos solos agrícolas as principais vias de entrada de C são através de depósito de material vegetal, a deposição de restos de animais e vegetais, e o uso de fertilizantes e/ou condicionantes orgânicos no solo. Enquanto as saídas são através da lixiviação do C, a remoção por meio da erosão e a emissão C-CO₂, devido à decomposição da matéria orgânica com a respiração microbiana.

Esta dinâmica do C no solo vem sendo estudada há mais de 100 anos, levando em consideração quatro principais vertentes: hidrólise ácida, fracionamento húmico, tamanho da partícula fracionada e a cinética do C no solo. Contudo, ainda requer maiores estudos para entender a relação do C no solo e a emissão de C-CO₂ para a atmosfera.

A quantidade de C-CO₂ emitida do solo está relacionada com o seu manejo e uso, assim como a quantidade de C-lábil ou prontamente metabolizável do solo e a atividade biológica da biomassa microbiana do solo (BMS). As características físicas e químicas do solo também têm influência na emissão de C-CO₂, dentre elas a densidade, porosidade, espaço poroso preenchido por água e a disponibilidade de nutrientes (LIN et al, 2009).

O cultivo de cana-de-açúcar com colheita mecanizada obteve uma rápida expansão nos últimos anos no Brasil, principalmente na região sudeste. Com a colheita mecanizada ocorre uma alta deposição, variando de 10 a 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca na superfície do solo e formando uma camada de 10 a 15 cm de espessura. Uma vez, que a palhada não pode ser mais eliminada com o uso de fogo como método despalhador e facilitador do corte da cana-de-açúcar, de acordo com lei estadual N°. 11.241, 2002, que prevê a eliminação deste método até 2021 no estado de São Paulo. (SIGAM, 2004).

No primeiro capítulo intitulado, “Emissão de C-CO₂ em solo incubado com resíduo da cana-de-açúcar e adubação nitrogenada”, verificou-se o efeito da temperatura

e adubação nitrogenada no solo com a adição da palhada de cana-de-açúcar em manejo superficial e incorporado na emissão de C-CO₂ e a correlação com as frações do carbono. Outro objetivo foi observar aos 79 dias de incubação o período que propicia a maior emissão de C-CO₂ e a correlação com estas variáveis.

No segundo capítulo intitulado “Mineralização da palhada de cana-de-açúcar em solos incubados em distintas temperaturas e adubação nitrogenada”, verificou-se o efeito da temperatura e adubação nitrogenada no solo com a adição de palhada de cana-de-açúcar na atividade biológica do solo (C-BMS, uréase, beta-Glucosidase) e mineralização dos macronutrientes (Ca⁺², Mg⁺², N, P). Além destes objetivos, buscou-se explicar a relação da mineralização e/ou imobilização do N na palhada de cana-de-açúcar que apresentar como característica peculiar alta relação C/N.

Assim, o objetivo deste trabalho foi entender e relacionar os distintos aportes do carbono e emissão de C-CO₂ em solos incubados com resíduo da cana-de-açúcar e adubação nitrogenada em distintas temperaturas.

1. EMISSÃO DE C-CO₂ EM SOLO INCUBADO COM RESÍDUO DA CANA-DE-AÇÚCAR E ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO - A palhada sobre o solo após a decomposição/mineralização da matéria orgânica é um importante reservatório de nutrientes para as plantas. Neste processo ocorre a produção e emissão de C-CO₂ influenciada por condições biofísicas e fatores ambientais como temperatura, disponibilidade de oxigênio e composição química da palhada. O objetivo deste trabalho foi estudar o impacto da temperatura (20°, 25° e 30° C) e adubação nitrogenada (0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹) na emissão de C-CO₂ e nos distintos aportes de C em solos manejados com palhada de cana-de-açúcar incorporada e superficial. A palhada incorporada e a adição de N ao solo propiciam maiores taxas de mineralização do COT, respectivamente 12,24 e 2,14 % em relação aos manejos com a palhada não incorporada e sem adição de N. No entanto, para o COT e o C da fração Humina (C-HU) não houve distinção aos 79 dias após incubação (DAI) dos solos. A emissão de C-CO₂ apresentou um ápice nos primeiros 4 DAI para os manejos com a palhada superficial de 5,45; 10,82; 14,00; 11,92 µg mol de C-CO₂ m⁻² s⁻¹ e uma emissão de 11,20; 14,47; 15,98; 14,74 C-CO₂ m⁻² s⁻¹ para a palhada incorporada, com um posterior decréscimo na emissão até a estabilidade a partir do 40° DAI.

PALAVRAS-CHAVES: gases de efeito estufa-GEE; matéria orgânica; ureia.

1. EMISSION OF C-CO₂ IN SOIL INCUBATED WITH SUGARCANE TRASH AND NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT – After decomposition/mineralization of organic matter from sugarcane trash on the soil, it becomes an important nutrient reservoir for plant. During this process, production and emission of C-CO₂ is affected by biophysical conditions and environment factors, such as temperature, oxygen availability and trash chemical composition. This study analyzed the impact of temperature (20, 25 or 30° C) and nitrogen fertilization (0 Kg N ha⁻¹ or 120 Kg N ha⁻¹) on C-CO₂ emission and the different C additions o soils managed with surface or incorporated sugarcane trash management. Incorporated trash with N addition resulted in greater mineralization rates of COT, respectively 12.24 and 2.14% in relation to non incorporated trash and with no N addition. However, no differences were observed between COT and C from humine fraction (C-HU) after 79 days of soil incubation. Emission of C-CO₂ peaked in the first four days of incubation for surface trash management, with 5.45, 10.82, 14.00, 11.92 µg mol C-CO₂ soil m⁻² s⁻¹ and of 11.20, 14.47, 15.98, 14.74 C-CO₂ m⁻² s⁻¹ with incorporated trash, with subsequent decrease in emission until becoming stable after 40 days of incubation.

KEYWORDS: greenhouse effect gases; organic matter; urea.

INTRODUÇÃO

Os solos são importantes reservatórios de carbono ativo e desempenham papel importante no ciclo global do C (JAMALA; OKE, 2013). Em cultivos de cana-de-açúcar a palhada é um importante reservatório de nutrientes que através da decomposição/mineralização podem ser disponibilizados para as plantas (JORDAN et al., 2010). Nesse processo a matéria orgânica é metabolizada pelos organismos organotróficos aeróbicos com o objetivo de produzir energia, liberando H_2O (água) e $C-CO_2$ (dióxido de carbono) para a atmosfera (BRADY; WEIL, 2008).

A produção de $C-CO_2$ do solo pode ser afetada pela adição de resíduo orgânico (WU et al., 2012; MALJANEN et al., 2001), e pelo uso e manejo do solo e da vegetação (LAL, 2004). Além destes, a composição química da palhada (relação C/N, teores de lignina, celulose, hemicelulose, hidratos de carbono diferentes e polifenóis), temperatura, disponibilidade de água (HERMAN et al., 1977; JANSSENS et al., 2001) e de oxigênio, (HERMAN et al., 1977), têm efeito direto sobre o processo de decomposição/mineralização da matéria orgânica (JOHNSON et al., 2008)

As características físicas e químicas do solo também têm influência na emissão de $C-CO_2$, dentre elas a densidade, porosidade, espaço poroso preenchido por água (LIN et al, 2009) e a disponibilidade de nutrientes (BRADY; WEIL 2008). O acúmulo de resíduos no solo é a principal fonte de N mineral para as plantas e microrganismos. A imobilização ou mineralização de N depende da qualidade dos resíduos que podem resultar em quantidades significativas durante a decomposição (MENGEL; SCHMEER, 1985).

No Brasil, com a utilização da colheita mecanizada da cana-de-açúcar ocorre a deposição da palhada na superfície do solo (PANOSSO et al., 2009), acumulando em média $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de palhada seca em uma camada de 10 a 15 cm de espessura (URQUIAGA et al., 1991). De acordo com decreto estadual N°. 11.241, 2002 a palhada não pode ser mais eliminada com o uso de fogo como método despachador e facilitador do corte da cana-de-açúcar (SIGAM, 2002), sendo extinta esta prática até o ano de 2021 no estado de São Paulo. A palhada da cana-de-açúcar adicionada ao solo, assim como a emissão de $C-CO_2$ estão relacionadas com os diferentes aportes do C no solo. Entender a proporção e dinâmica do C é fundamental para compreender a sustentação dos diferentes sistemas agrícolas (FANG; MONCRIEFF, 2001; GALDOS et al., 2009) e suas consequências no ciclo do C (LIU et al., 2013).

Objetivou-se com este trabalho verificar a influência e a correlação da temperatura e adubação nitrogenada no solo sobre a emissão de C-CO₂ e os distintos aportes de C em solos manejados com palhada de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de incubação foi conduzido em Laboratório. O solo em estudo foi coletado em abril de 2012, em uma área com cultivo de cana-de-açúcar, com textura média (latitude 19°13'00,22"S e longitude 48°08'24,80"W), localizado entre os municípios de Uberlândia - Uberaba, no Triângulo Mineiro, próximo aos usos com Cerrado e Pastagem (Figura 1).

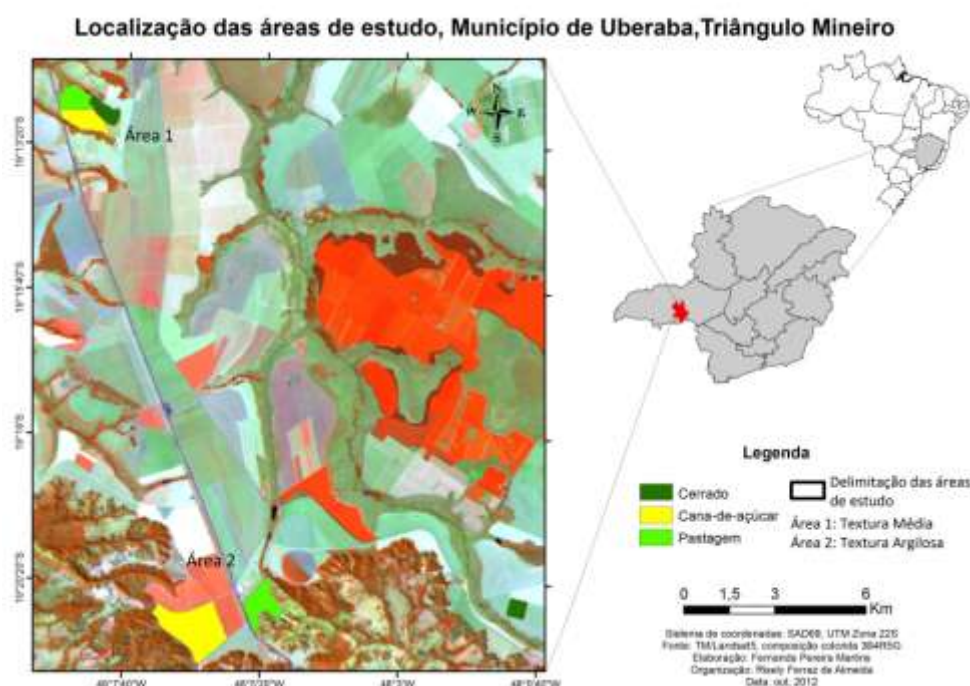


Figura 1. Localização da área de coleta do solo de textura média (Área 1) no cultivo de cana-de-açúcar localizado entre os municípios de Uberlândia - Uberaba, no Triângulo Mineiro.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0 - 20 cm. Em laboratório o solo foi seco ao ar, peneirado (<2 mm) para obtenção da TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), e umedecidas até 60% da capacidade de retenção de água (CRA) para montagem do

experimento. A palhada em laboratório foi seca em temperatura ambiente e fracionada em tamanho médio de 1 cm².

Posteriormente, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de acordo com o Sistema Classificação de Solos Americano (EMBRAPA, 2013).

Uma alíquota do solo e da palhada foi direcionada para caracterização dos atributos químicos e físicos do solo. Para a determinação da textura do solo utilizou-se o método da pipeta conforme Kilmer and Alexander (1949). Para o potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H + Al), pH (H₂O), o fósforo disponível (P) (EMBRAPA, 1997). O nitrogênio total (NT) do solo e da palhada foi determinado de acordo com o método de Kjeldahl (BLACK, 1965) e o COT por Yeomans and Bremner (1988), Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização nutricional da palhada de cana-de-açúcar e dos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico utilizado no experimento.

CARACTERÍSTICAS	SOLO	PALHADA
Areia (g Kg ⁻¹)	630	-
Silte (g Kg ⁻¹)	140	-
Argila (g Kg ⁻¹)	230	-
pH (H ₂ O)	5,6	-
NT (g Kg ⁻¹)	0,69	1,44
COT (g Kg ⁻¹)	7,40	142
C/N	-	99,0
P (mg dm ⁻³)	2,47	0,8
K ⁺ (mg dm ⁻³)	208,00	9,0
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,60	1,3
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,20	5,4
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,20	-
S-SO ₄ (mg dm ⁻³)	51,00	-
Soma de base (SB)	3,33	-
CTC (T)	5,53	-

Incubação dos solos

Foram acondicionadas 700g de solo atingindo uma coluna de 13 cm em vaso de PVC (cloreto de polivinil), com altura de 15 cm, diâmetro de 10,5 cm e um volume total de 1298,2 cm³, fixados em uma base de isopor devidamente isolados para evitar a perda de água dos solos (Figura 2). O conjunto foi acondicionado em incubadora BOD.



Figura 2. Vasos de PVC com base de isopor para acondicionamento dos solos

O experimento foi estabelecido em delineamento inteiramente casualizados, com três repetições, constituindo um fatorial $3 \times 2 \times 2$, três temperaturas (20° , 25° e 30°C), dois tipos de manejo da palhada no solo (superficial ou incorporado) e duas doses de nitrogênio (0 kg N ha^{-1} e 120 kg N ha^{-1}).

Nos tratamentos foram adicionados e incorporados ao solo a quantidade corresponde à recomendação de 120 kg N ha^{-1} do granulado ureia $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$. Posteriormente, foram adicionadas 17 g de palhada de cana-de-açúcar em tamanho de 1 cm^2 , correspondendo a $20 \text{ mg de palhada ha}^{-1}$, incorporando ao solo nos seus respectivos vasos, enquanto no manejo superficial depositou sobre a superfície do solo nos seus devidos tratamentos.

A dose padrão de 120 kg N ha^{-1} é indicada para adubação de cobertura da cana-soca, no estado de São Paulo para obter uma produtividade maior que 100 mg ha^{-1} de colmos (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Os intervalos de temperatura utilizados concentram a maior atividade dos microrganismos do solo, propiciando condições para

o crescimento e atividade de microrganismos mesófilos, entre 20° - 40° C (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Após, a montagem os conjuntos foram direcionados para as três diferentes temperaturas em BOD, mantendo 60% da capacidade de retenção de água (CRA) do solo durante o experimento, através da diferença de peso do conjunto. A disponibilidade de nutrientes foi avaliada no início e após os 79 dias de incubação.

Emissão de C-CO₂ e determinação dos diferentes tipos de C do solo

As emissões de C-CO₂ dos solos foram mensuradas ao 1°, 2°, 3°, 4°, 6°, 8°, 10°, 13°, 16°, 19°, 22°, 25°, 28°, 31°, 34°, 37°, 44°, 51°, 58°, 65°, 72° e 79° dias após as incubações (DAI) nas BODs, utilizando IRGA, (Li-Cor 8100A). Este aparelho possui um sistema fechado com volume interno de 854,2 cm³ e área de contato com o solo de 83,7 cm² (Li-Cor Inc. Linclon, NE, USE). A câmara do sistema quantifica a concentração de C-CO₂ em seu interior por meio de espectroscopia de absorção ótica na região espectral do infravermelho.

Com as variáveis da emissão de C-CO₂ calculou-se a respiração acumulada final (Σ -C-CO₂ até o 79° DAI) e a respiração acumulada inicial (Σ -C-CO₂ até o 5° DAI). No 80° DAI realizou-se a coleta dos solos que estavam incubados, foram peneirados em malha de 2 mm separando a palhada remanescente do solo. Para as análises do COT (palhada e solo), utilizou-se o método de oxidação do dicromato de potássio em meio ácido (YEOMANS; BREMNER, 1988). Ressaltando, que para a caracterização do COT do solo e da palhada, antes da incubação, utilizou-se essa mesma metodologia (Tabela 1). A extração e o fracionamento quantitativo do C das substâncias húmicas (humina/C-HU, ácido fúlvico/C-AF e ácido húmico/C-AH) foram determinados através da solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996).

O C da biomassa microbiana solo (C-BMS), foi determinado pelo método descrito por Vance et al. (1987), utilizando o forno de micro-ondas para irradiação das amostras (ISLAM; WEIL, 1998). O C lábil (C-lábil) foi determinado de acordo com Mendonça e Matos (2005) e os teores de N, P, Ca⁺² e Mg⁺², de acordo com as metodologias propostas pela EMBRAPA (1997), Tabela 1.

Análise estatística

Os resultados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos (Teste de Shapiro-Wilk, SPSS Inc., USA) e homogeneidade das variâncias (Teste Bartlett, SPSS Inc., USA). Em seguida, quando significativos os resultados (Teste t), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As variáveis foram correlacionadas pelo teste de correlação linear de Pearson (Sigma-plot In., USA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Emissão de C-CO₂

Nos primeiros quatro dias após a incubação (DAI) do solo, no manejo com adição da palhada de cana-de-açúcar superficial ocorreu um ápice na emissão de C-CO₂, que foi intensificado nos manejos incubados a 30° C, com uma emissão média diária de 5,45; 10,82; 14,00; 11,92 e 9,66 $\mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o 1°, 2° 3°, 4° e 5° DAI, respectivamente. A partir do 4° DAI evidenciou decréscimo na emissão com pequenos picos até obter estabilidade a partir do 40° DAI e obtendo uma emissão média de 1,22 $\mu\text{mol de C-CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Figura 3A, C, E).

No manejo com a palhada incorporada ao solo ocorreram também estes picos de emissão de C-CO₂ nos primeiros 5 DAI. Contudo, com maiores médias e uma respectiva emissão diária de 11,20; 14,47; 15,98; 14,74 e 11,43 $\mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com posterior decréscimo até atingir a estabilidade a partir dos 40° DAI (Figura 3B, D e F).

Resultados semelhantes foram obtidos por Guillou et al. (2011), trabalhando com taxas de emissão de C-CO₂ em Luvisol com adição superficial de palhada de trigo, exibindo um pico ao fim de 3° DAI e, em seguida, um decréscimo exponencial até o final do experimento com 56 dias de incubação. Cayuela et al. (2009), também evidenciou esse pico na emissão de C-CO₂, avaliando palhada de algodão incubada na superfície de um Regosol por 25 dias.

O aumento na emissão de C-CO₂ inicial é explicado pela rápida mineralização da fração mais lábil (C-lábil) do tecido vegetal adicionado ao solo que apresenta compostos com rápida decomposição (CAYUELA et al., 2009; BRADY; WEIL, 2008), podendo durar poucos dias ou anos (BRADY; WEIL, 2008). Não ocorreu correlação do C-lábil presente no solo aos 79 DAI com a respiração inicial ($r = -0,12$) e final ($r = -0,16$) (Tabela 2), mas ocorreu correlação positiva entre a respiração final e inicial ($r = 0,95$). Decréscimos nos teores de C-lábil com a emissão de C-CO₂ dos solos cultivados com cana-de-açúcar foram encontrados por Panosso et al. (2011).

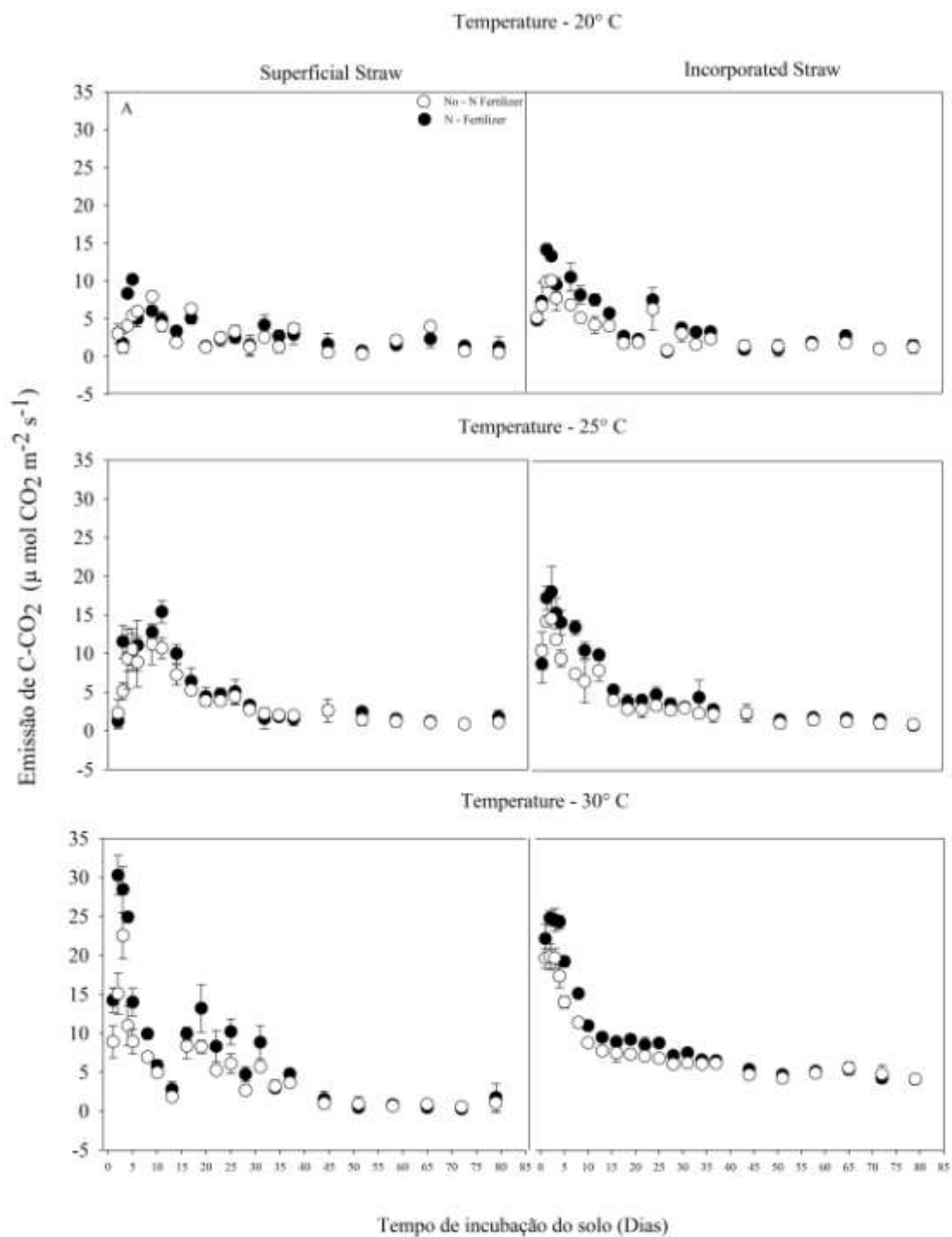


Figura 3. Emissão de C-CO₂ (Respiração microbiana) durante a incubação do solo com palhada de cana-de-açúcar no manejo superficial (Figura A, C e E) e incorporada (Figura B, D e F), combinado com a adubação nitrogenada nas doses 0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹, incubados em três temperaturas: 20, 25, e 30° C.

A oscilação nos picos da emissão de C-CO₂ verificados nos manejos da palhada de cana-de-açúcar, principalmente no ambiente a 20° C (Figura 3), pode ser devido a sucessão e estabilidade de comunidades de microrganismo do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Em ambientes com abundância de material vegetal ocorre a presença de organismos oportunistas e colonizadores que apresentam rápida taxa de crescimento e reprodução (BRADY; WEIL, 2008).

Tabela 2. Correlação (r) entre as variáveis: carbono da fração humina (C-HU), carbono na fração ácido húmico (C-AH), ácido fúlvico (C-AF), carbono orgânico total (COT), carbono Lábil (C-Lábil), relação ácido húmico e ácido fúlvico (AH/AF), respiração acumulada final (RA-F) e respiração acumulada inicial (RA-I).

	C-AH	C-AF	COT	C-Lábil	AH/AF	RA - F	RA - I
C-HU	0,35	0,16	0,39*	-0,22	-0,06	-0,005	0,05
C-AH	-	0,37*	0,11	-0,18	0,06	0,21	0,32
C-AF	-	-	0,09	0,11	0,29	-0,14	-0,07
COT	-	-	-	-0,06	-0,50**	0,02	-0,02
C-Lábil	-	-	-	-	0,14	-0,12	-0,16
AH/AF	-	-	-	-	-	-0,46**	-0,38**
RA - F	-	-	-	-	-	-	0,95*
RA - I	-	-	-	-	-	-	-

As variáveis são consideradas significativas com $P < 0,050$. * Correlações positivas. ** Correlações negativas.

A estabilidade na emissão de C-CO₂ adquirida a partir do 40° DAI está relacionada com o consumo de grande parte do C lábil, restando o C recalcitrante ligado às frações estruturais e o C presente na palhada remanescente, material mais lignificado com tamanho menor que 2 mm.

Após o período de incubação não houve distinção entre os manejos para o C-BMS, C-lábil e os teores de Ca⁺², Mg⁺² e P no solo (Tabela 3). Mas, ocorreu decréscimo entre 10,0 a 21,8 g Kg⁻¹ de C na palhada adicionada ao solo (Tabela 3) com a emissão de C-CO₂ (Tabela 4). De acordo com Brady e Wiel (2008) com a decomposição total do material orgânico adicionado ao solo, cerca de 80% é emitido para a atmosfera em forma de C-CO₂.

Com a maior emissão de C-CO₂ (perda de C) nos solos incubados a 30° C ocorreu redução significativa da relação C/N, diferenciando das demais temperaturas (Tabela 3). Solos que apresentam maior relação C/N e menor quantidade de nutrientes propiciam maior competição por recursos entre os microrganismos refletindo em morte

de alguns e baixa emissão média de C-CO₂ para a atmosfera. Pequenas populações de microrganismos sobrevivem e lentamente vão digerindo o tecido orgânico estável e resistente (lignina e celulose) do solo (BRADY; WIEL, 2008).

Tabela 3. Teores no solo do carbono da biomassa microbiana (C-BMS), carbono lábil (C-lábil), nitrogênio (N), relação carbono nitrogênio (C/N), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e fósforo (P) nos solos, além do carbono da palhada (CP) após 79 dias de incubação.

	C-BMS*	C-lábil*	N	CP	C/N	Ca ⁺² *	Mg ⁺² *	P*
	ug g ⁻¹ ha ⁻¹	-----g Kg ⁻¹ -----			-----cmol _c dm ⁻³ ---			
Manejo da palhada								
Superficial	238,30	5,05	0,81B	132,04A	9,61A	1,94	0,88	3,00
Incorporada	289,07	4,77	0,87A	118,1B	10,27A	2,05	0,94	2,94
Adubação nitrogenada								
0Kg N ha ⁻¹	245,22	5,11	0,83	128,97A	9,72A	2,05	0,94	3,0
120Kg N ha ⁻¹	282,15	4,72	0,84	121,17A	10,16A	1,94	0,88	2,94
Temperaturas								
20° C	285,11	4,66	0,82	127,34A	10,33A	2,00	0,83	2,91
25° C	299,14	5,25	0,85	127,34A	10,83A	2,00	0,91	3,00
30° C	306,81	4,83	0,84	120,14A	8,66B	2,00	1,00	3,00

*As variáveis não apresentaram diferença significativa.

A relação C/N e CP médias acompanhadas com letras maiúsculas na coluna, quando distintas, diferenciam pelo teste de Tukey (P>0,05).

A emissão acumulada de C-CO₂ nos primeiros cinco DAI apresentou uma concentração de 20,45% da emissão total no manejo superficial da palhada no solo. Enquanto que, para o incorporado, esta concentração chegou a 25,53% (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Rezende et al. (2004) trabalhando com o Argissolo e Latossolo Vermelho incubado com adição de levedura de destilaria obtendo uma concentração de 34 – 67 % da emissão de C-CO₂ nas duas primeiras semanas de incubação.

Aos primeiros cinco DAI o manejo da palhada incorporada associado à temperatura de 30° C apresentou acréscimo de 72,72 % comparado-o com o manejo com a palhada superficial a 20° C, que obteve a menor média de emissão de C-CO₂. Quando incubado a 30° C e com adição de 120 Kg N ha⁻¹ a emissão de C-CO₂, também foi acrescida de 70,92 % em relação ao tratamento sem adição de N a 20° C (Tabela 4).

Os acréscimos das temperaturas contribuíram para aumentar a emissão de C-CO₂ nos manejos com a palhada superficial com 40,00 % e 50,00 %, respectivamente para os

intervalos 20-25° C e 25-30° C. Enquanto, para o manejo com a palhada incorporada este crescimento foi menor, respectivamente 37,50 % e 27,27 % (Tabela 4).

Tabela 4. Emissão de C-CO₂ Acumulada aos 5° e 79° após a incubação dos solos (Mg C-CO₂ m⁻²) em solos manejados com palhada de cana-de-açúcar, superficial e incorporados, associados a duas doses de nitrogênio (0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹), nas três temperaturas de incubação 20, 25 e 30° C.

T° C	Manejo da Palhada		Doses de Nitrogênio	
	Superficial	Incorporado	0 Kg N ha ⁻¹	120 Kg N ha ⁻¹
----- Emissão Acumulada aos 5° DAI -----				
20° C	0,03 Bc	0,05 Ac	0,03 Bc	0,04 Ac
25° C	0,05 Bb	0,08 Ab	0,06 Ab	0,07 Ab
30° C	0,10 Aa	0,11 Aa	0,08 Ba	0,13 Aa
----- Emissão Acumulada aos 79° DAI -----				
20° C	0,22 Bb	0,25 Ab	0,20 Bb	0,27 Ac
25° C	0,33 Aa	0,33 Aa	0,29 Ba	0,37 Ab
30° C	0,33 Ba	0,36 Aa	0,29 Ba	0,40 Aa

Aos 79 DAI dos solos também ocorreram acréscimos na emissão de C-CO₂. Contudo, efeito significativo só foi observado a 20°C com as menores respirações acumuladas entre as temperaturas. O intervalo entre as temperaturas de 20° - 35° C propiciam condições adequadas para a decomposição e mineralização da MOS pelos microrganismos mesófilos (BRADY; WEIL, 2008). Contudo, o aumento da temperatura condiciona uma maior emissão de C-CO₂ com incrementos exponenciais ou lineares (LIU et al., 2013).

De acordo com Stanford et al. (1973), solos incubados em temperaturas variando de 5° a 35° C ocorre acréscimo na mineralização do C com o aumento. Em condições naturais de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, de acordo com os resultados obtidos por Panosso et al. (2009); La Scala Jr. et al. (2005), não é possível identificar correlação positiva da temperatura do solo com a emissão de C-CO₂. Acredita-se que nesse ambiente a variação da temperatura do solo mantém próxima a condição ótima para a atividade microbiana sem grandes oscilações.

A incorporação da palhada ao solo aos 79 DAI com temperaturas 20° e 30° C proporcionou maior emissão de C-CO₂ do que o tratamento com palhada na superfície. Contudo, a 25° C não houve distinção entre os manejos. Este resultado deve-se a maior área de contato do tecido vegetal com os microrganismos quando incorporado ao solo e a maior população microbiana (BRADY; WEIL, 2008).

Nesse mesmo período a adição de N propiciou acréscimo na emissão de C-CO₂ em 25,00% quando comparada aos tratamentos sem aplicação de N. O resíduo da cana apresentou 12,3% N e uma relação C/N 99 (Tabela 1) que proporciona uma deficiência de N no sistema. Considerando a essencialidade do N para o desenvolvimento dos microrganismos, pois está associada à síntese de compostos, como aminoácidos, enzimas e DNA, a demanda por esse nutriente é grande. Portanto, quando adicionado ao solo contribui para uma maior atividade biológica e consequentemente maior emissão de C-CO₂ (GIFFORD et al., 2000). Em manejos que adicionam palhadas com alta relação C/N (maior que 30), como é o caso da cana-de-açúcar, deve-se consorciar com a adição de uma fonte de N para que não ocorra dominância do processo de imobilização de N, tornando-o indisponível para as plantas e microrganismo presentes nos solos (BRADY; WEIL, 2008).

Verificando uma emissão acumulada crescente em todos os tratamentos (Figura 4). Contudo, com a manutenção da palhada na superfície do solo representa um decréscimo de 6,38 % na emissão de C-CO₂ comparando com o manejo com a palhada incorporada. Representando ainda, na área de plantio de cana-de-açúcar no Brasil com 8.485,0 mil hectares (CONAB, 2013) um diminuição de 2.358, 61 Mg de C-CO₂ ha⁻¹ em um ano de cultivo.

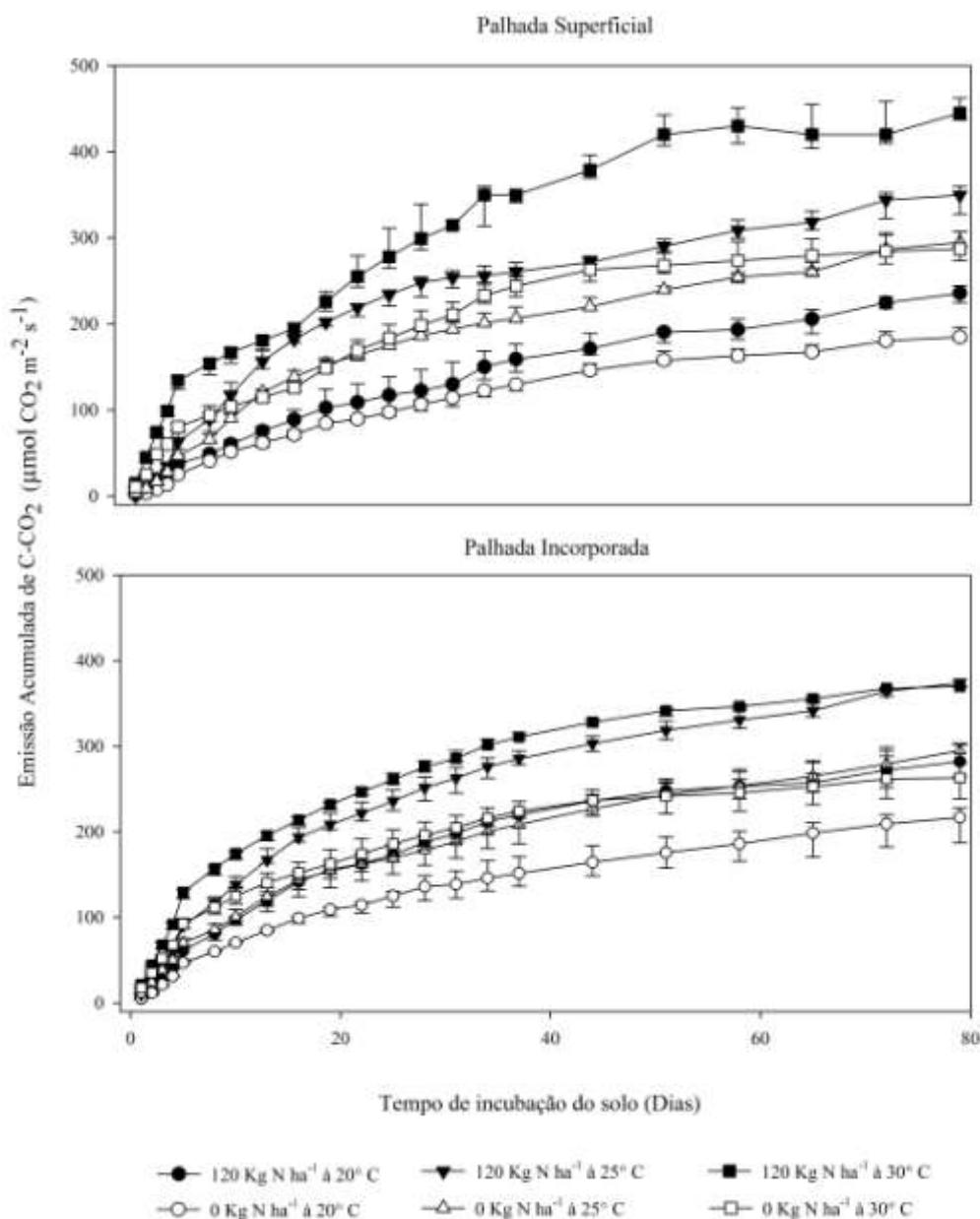


Figura 4. Emissão Acumulada de C-CO₂ (Respiração microbiana) durante a incubação do solo com palhada de cana-de-açúcar no manejo superficial e incorporada, combinado com a adubação nitrogenada nas doses 0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹, incubados em três temperaturas: 20°, 25°, e 30° C, com os 79 dias de incubação do solo.

Carbono orgânico total (COT) e carbono das substâncias húmicas (SH)

Para o COT não foi possível constatar interação positiva entre os manejos, ocorrendo variação (Figura 5). Tal resultado deve-se a escolha da utilização da palhada de cana-de-açúcar, que apresenta alta relação C/N (Tabela 1) e o curto período de observação (79 dias de incubação).

O aporte de C no solo mantém relação direta com a taxa de adição de cada tipo de resíduo orgânico no solo. A deposição de material vegetal ao solo pode acarretar aumento significativo das quantidades de COT com o passar de décadas (HARRISON et al., 1995).

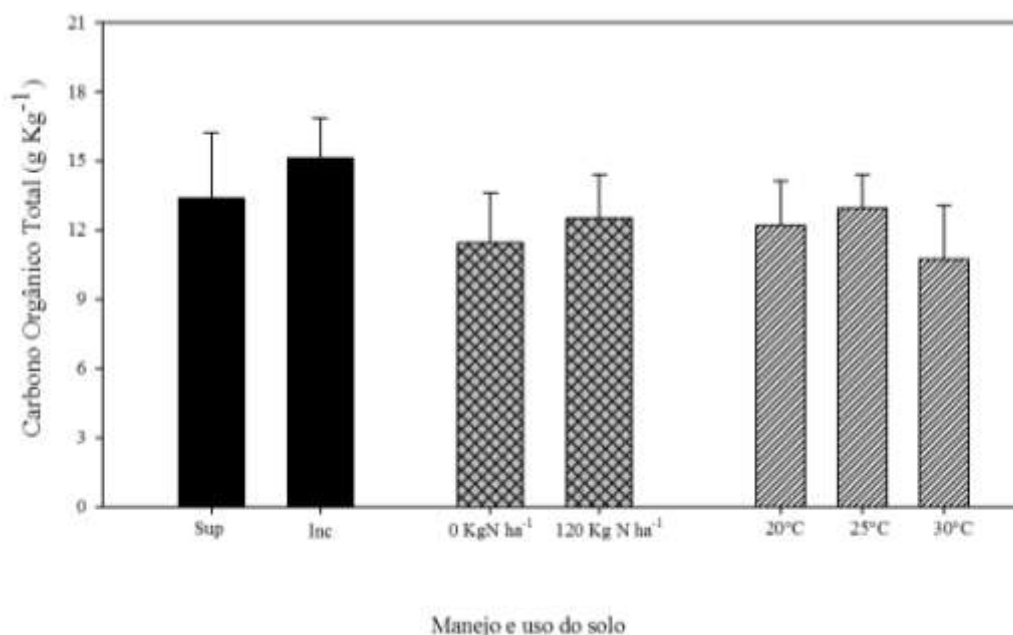


Figura 5. Carbono orgânico total – COT nos solos (g Kg⁻¹), com o manejo da palhada de cana-de-açúcar superficial (Sup) e incorporada (Inc) em diferentes doses de nitrogênio (0 Kg ha⁻¹ e 120 Kg ha⁻¹), incubados por 79 dias em três distintas temperaturas (20°, 25° e 30° C). As barras com erro representam o desvio padrão da média.

O C das substâncias húmicas (C-SH) apresentou 71,0% da concentração do COT. No solo mais de 70% ou mais do COT encontra-se em forma de SH que são formas mais estáveis da matéria orgânica do solo (LUO; ZHOU, 2006; STEVENSON, 1994).

Dentre as frações húmicas obteve-se a maior concentração do C-HU, com média de 7,0 g C kg⁻¹, seguida pela fração do C-AF e C-AH, de 1,63 e 1,36 C kg⁻¹, respectivamente (Figura 6). Em outros estudos também se verificou altas concentração da fração C-HU dentre as C-SH em solos tropicais em diferentes classes, usos e manejos do solo (CONTEH; BLAIR, 1998). A maior concentração do C-HU é devido a sua insolubilidade (ácido e base), maior grau de estabilidade e a íntima associação à fração mineral dos solos (STEVENSON, 1994; SPARKS, 2001). Além disto, solos com baixa fertilidade e textura arenosa a maior parte do COT do solo é concentrado no C-

HU (LAL, 2004), com maiores perdas de C-AH e C-AF devido a maior mobilidade no solo (ANDREUX; BECERRA, 1975).

Baixas concentrações de C-AH nos solos, também foram encontradas por Canellas et al. (2003), estudando áreas manejadas com palhada de cana-de-açúcar mantidas na superfície do solo (cana crua).

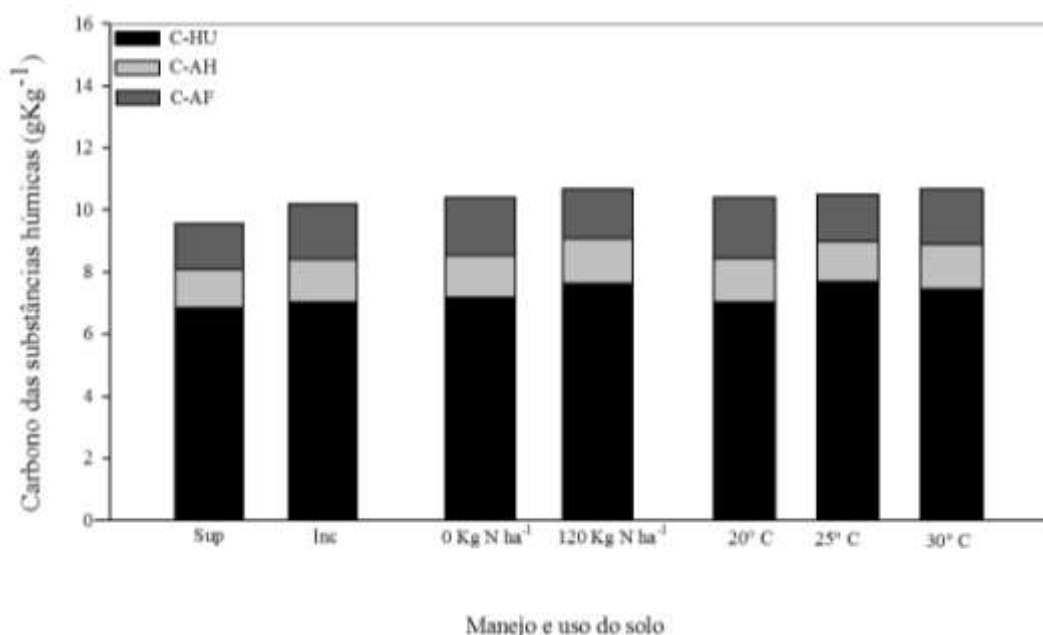


Figura 6. Carbono das substâncias húmicas C-SH: Humina (C-HU), Ácido Fúlvico (C-AF) e Ácido Húmico (C-AH) nos solos (g Kg^{-1}), com o manejo da palhada de cana-de-açúcar superficial (Sup) e incorporado (Inc) consorciado em diferentes doses de nitrogênio (0 e 120 Kg N ha^{-1}), incubados por 79 dias em três distintas temperaturas (20°, 25° e 30° C).

Para o C-HU não houve distinção entre os manejos. No entanto, ocorreu variação e uma concentração média de 79,6 % do C-HU na fração do COT no solo (Figura 6), com correlação significativa positiva entre os mesmos ($r = 0,39$), Tabela 2. Mesma correlação positiva também foi encontrada por Canellas et al. (2003), com concentração de 30 a 80 % do COT na fração C-HU (BRADY; WEIL, 2008; STEVENSON, 1994).

Os resíduos de cana-de-açúcar, por possuírem maior quantidade de lignina, contribuem para a maior formação de compostos fenólicos durante a decomposição, permanecendo maior aporte de C no solo, principalmente da fração C-HU, mas este processo ocorre em maior período de tempo (STEVENSON, 1994),

Entre as frações alcalinas (C-AF e C-AH), o C-AF não apresentou interação significativa entre os manejos, mas apresentou variação. Enquanto, para o C-AH houve

interação entre o manejo da palhada com acréscimo de 6,15 % quando a palhada foi incorporada em relação à palhada na superfície.

Correlação positiva ocorreu entre as frações alcalinas ($r = 0,03$), além de interações negativas da relação AH/AF com a respiração inicial ($r = -0,38$) e final ($r = -0,46$), além de correlação negativa com o COT ($r = -0,50$), Tabela 2. Verificando que o C-SH tem um importante papel na transferência de nutrientes através de sistemas ecológicos, assim como nas emissões de C-CO₂ para a atmosfera. De acordo com Fontaine et al. (2007), com a maior respiração ocorre a diminuição de frações mais estáveis da MOS. Provavelmente estas correlações negativas devem-se ao efeito priming que de acordo com Brady e Weil (2008), a alta respiração do solo com a adição de resíduos vegetais é estimulada pela quebra de alguma matéria orgânica mais resistente.

CONCLUSÕES

A emissão de C-CO₂ apresenta ápice nos primeiros 3 DAI e um posterior decréscimo até adquirir a estabilidade a partir do 40 DAI. Não há correlação da emissão de C-CO₂ com o C-lábil, após 79 DAI. Mas, há correlação negativa com AH/AF. O manejo da palhada incorporada, a adubação nitrogenada e o acréscimo da T°C contribuem para a maior emissão de C-CO₂. Para o COT, C-HU, C-AH não há diferença significativa, após 79 DAI. E sem correlação com a emissão de C-CO₂

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio e incentivo a produção.

REFERÊNCIAS

- ANDREUX, F.; BECERRA, S. P. Fraccionamiento y caracterización del material húmico en algunos suelos de sabana de la Orinoquia Colombiana. **Turrialba**, v. 25, n. 1, p. 191-198, 1975.
- BLACK, C. A. **Methods of Soil Analysis: Part 2 – Chemical and Microbiological Properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. 1159p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008. 975p.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 935-944, 2003.
- CAYUELA, M. L.; SINICCO, T.; MONDINI, C. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. **Applied soil ecology**, v. 1, n. 41, p. 118–127, 2009.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar, safra 2012-2103**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_30_34_boletim_cana_portugues_abril_2013_4o_lev.pdf>. Acessado: 10. fev. 2014.
- CONTEH, A.; BLAIR, G. J. The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (vertisols) under cotton production. **Australian Journal of Soil Research**, v. 36, n. 1, p. 257-271, 1998.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª edição, 353p. 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º Ed. Rev. atual. Rio de Janeiro. 1997. 212p.
- FANG, C.; MONCCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 33, n. 1, p.155-165, 2001.
- FONTAINE, S.; BAROT, S.; BARRE, P.; BDIOUI, N.; MARY, B.; RUMPEL, C. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, v. 1, n. 408, p. 277–280, 2007.
- FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 1, n. 39, p. 156–166, 2011.
- GALDOS, M. V., CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, v. 153, n.1, p. 347-352, 2009.

HERMAN, W. A.; MCGILL, W. B.; DORMAAR, J. F. Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. **Canadian Journal of Soil Science**, v.57, n. 1, p. 205-215, 1977.

GUILLOU, C. L.; ANGERS, D. A.; LETERME, P.; MENASSERI-AUBRY, S. Differential and successive effects of residue quality and soil mineral N on water-stable aggregation during crop residue decomposition. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 1, n. 43, p. 1955-1960, 2011.

GIFFORD, R. M.; BARRETT, D. J.; LUTZE, J. L. The effects of elevated [CO₂] on the C:N and C:P mass ratios of plant tissues. **Plant and Soil**, v. 224, n. 1, p. 1–14, 2000.

HARRISON, K. G.; POST, W. M.; RICHTER, D. D. Soil carbon turnover in a recovering temperate forest. **Global Biogeochemical cycles**, v. 9, n. 1, p. 449-454, 1995.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 1, p. 408-416, 1998.

JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; RIHA, S.J.; KRUSCHE, A.V.; RICHEY, J. E. et al. CO₂ efflux from Amazonian headwater streams represents a significant fate for deep soil respiration. **Geophys Res Lett**, v. 35, n. 1, p. 17401, 2008.

JORDAN, A.; ZAVALA, L. M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, v. 81, n. 1, p. 77-85, 2010.

JAMALA, G. Y.; OKE, D. O. Humic Substances and Mineral-Associated Soil Organic Carbon As Influenced By Land Use in Southeastern Adamawa State, Nigeria. **Journal of Environmental Science**, v. 6, n. 1, p. 59-70, 2013.

JANSSENS, I. A.; LANKREIJER, H.; MATTEUCCI, G.; KOWALSKI, A. S.; BUCHMANN, N.; EPRON, D.; PILEGAARD, K.; KUTSCH, W.; LONGDOZ, B.; GRUNWALD, T.; MONTAGNANI, L.; DORE, S. et al. Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. **Global Change Biology**, v. 7, n. 1, p. 269-278, 2001.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1, p. 1-22, 2004.

LIN, X.; WANG, S.; MA, X.; XU, G.; LUO, C.; LI, Y.; JIANG, G.; XIE, Z. Fluxes of CO₂, CH₄, and N₂O in an alpine meadow affected by yak excreta on the Qinghai-Tibetan plateau during summer grazing periods. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 1, p. 718-725, 2009.

LIU, Y.; WAN, K. Y.; TAO, Y.; LI, Z. G.; ZHANG, G. S.; LI, S. L.; CHEN, F. Carbon Dioxide Flux from Rice Paddy Soils in Central China: Effects of Intermittent Flooding and Draining Cycles. **Plos one**, v.2, n. 1, p. 56562, 2013

LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil Respiration and the Environment**. Burlington, MA, 2006. 333p.,

KILMER, V. J.; ALEXANDER, L. T. Methods of making mechanical analyses of soils. **Soil Science**, v. 68, n. 1, p. 15–24, 1949.

MALJANEN, M.; HYTÖNEN, J.; MARTIKAINEN, P. J. Fluxes of N₂O, CH₄ and CO₂ on afforested boreal agricultural soils. **Plant and Soil**, v. 231, n. 1, p. 113–121, 2001.

LA SCALA Jr.; N; LOPES, A.; PANOSSO, A.R.; CAMARA, F.T.; PEREIRA, G.T. Soil CO₂ efflux following Rotary tillage os a tropical soil. **Spoil & Tillage Research**, v. 84, n. 2, p. 222-225, 2005.

MENGEL, H.; SCHMEER., H. Effect of straw, cellulose and lignin on the turnover and availability of labelled ammonium nitrate **Biology and Fertility of Soils**, v. 1, n. 1, p. 175–181, 1985.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

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

PANOSSO, A. R.; LARQUES Jr.; PEREIRA, J.; LA SCALA Jr., N. Spatial and temporal variability os foil CO₂ emission in a sugarcane área under Green and slash-and-burn managements. **Soil & Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 275-282p, 2009.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR.^A, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR.^a, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, v.111, n. 1, p. 190–196, 2011.

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, (Boletim técnico, 100), 1997. 233-239 p.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, v. 94, n. 1, p. 159–167, 2004.

SPARKS, D.L. Elucidating the fundamental chemistry of soils: Past and recent achievements and future frontiers. **Geoderma**, v. 100, n. 1, p. 303-319, 2001.

SIGAM - SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO AMBIENTAL. 2002. Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. **Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas**. Disponível em: <<http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=2332>>. Acessado em: 10. fev. 2014.

STANFORD, G.; FRERE, M. H.; SHWANINGER, D. H. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. **Soil Science**, v. 115, n. 1, p. 321-323, 1973.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison: **Soil Science Society American**, 1996. 1011-1020p.

SOMMERS, L. E., NELSON, D. W. Determination of total phosphorus in soils: a rapid perchloric acid digestion procedure. **Soil Science Society of America Journal**. v. 36, n. 6, p. 902-904, 1972.

URQUIAGA; BODEY, M.; OLIVEIRA, O. C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. A **Importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar**. Comunicado técnico da Empresa Nacional de Pesquisa Agropecuária / EMBRAPA, v. 1, n. 5, p. 1-6, 1991.

VANCE, E. D., P.C. BROOKES,; D. S. JENKINSON. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 19, n. 1, p. 703-707, 1987.

YEOMANS, J.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method four routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 19, n. 1, p. 1467-1476, 1988.

WU, F.; JIA, Z.; WANG, S.; CHANG, S.X.; STARTSEV, A. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil. **Biol Fertil Soils**, v. 49, n. 1, p. 555-565, 2012

2. MINERALIZAÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLOS INCUBADOS COM DISTINTAS TEMPERATURAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO - A palhada da cana-de-açúcar depositada no solo é uma fonte alternativa de nutrientes, que pode ser condicionador de solo e atua no controle da erosão. Os efeitos de sistemas de colheita da cana-de-açúcar, especialmente com a palhada incorporada ou na superfície do solo, e a consequente repercussão na disponibilidade de nutrientes para as plantas ainda é pouco conhecido. O objetivo do presente trabalho foi estudar a influência da adubação nitrogenada (0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹) e do manejo da palhada de cana-de-açúcar (superficial e incorporado) na disponibilidade dos nutrientes em solos incubados em três temperaturas (20°, 25° e 30° C). Verificando acréscimo de 6,89 % de N no solo com a incorporação da palhada de cana-de-açúcar quando comparada com o manejo superficial. Acréscimos de N total foram obtidos na palhada da cana-de-açúcar, principalmente quando incorporada consorciada com a adubação nitrogenada. Não houve efeito dos tratamentos sobre os teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), carbono lábil (C-lábil), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e fósforo (P).

PALAVRAS-CHAVES: nitrogênio; imobilização; relação C/N.

2. MINERALIZATION OF SUGARCANE TRASH INCUBATED IN THE SOIL AT DIFFERENT TEMPERATURES AND WITH NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT – Sugarcane trash deposited on the soil is an alternative nutrient source, which can be a soil conditioner and act on erosion control. The effects of sugarcane harvesting systems, especially with incorporated trash, or having it left on the soil surface, and the subsequent consequences on nutrient availability to plants is little known. Therefore, this study evaluated the effect of nitrogen fertilization (0 Kg N ha⁻¹ or 120 Kg N ha⁻¹) and sugarcane trash management (surface or incorporated) on nutrient availability in soils incubated at three temperatures (20, 25 or 30° C). There was an increase of soil N by 6.89% after trash incorporation, in comparison to surface management. Greater additions of total N were obtained for sugarcane trash, especially after incorporation coupled to nitrogen fertilization. There was no effect of treatments on carbon contents in soil microbial biomass (C-BMS), labile carbon (C-labile), calcium (Ca⁺²), magnesium (Mg⁺²) and phosphorus (P).

KEYWORDS: nitrogen; immobilization; C/N proportion.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, assim como dos derivados açúcar e etanol. Sendo líder em tecnologia de produção, em pesquisa e desenvolvimento na área sucroalcooleira (MAPA, 2012).

Com a utilização da colheita mecanizada na cana-de-açúcar, depois da redução e proibição até o ano de 2021 do uso de fogo como método despalhador e facilitador do corte (SIGAM, 2002), ocorre a deposição da palhada na superfície solo (PANOSSO et al., 2009). A matéria seca oscila entre 10 a 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (URUQUIAGA et al., 1991), em espessura entre 10 - 12 cm na superfície do solo (CAMPOS, 2003), composta por palha seca, ponteiros e folhas verdes (OLIVEIRA et al., 1999b).

A manutenção desta palhada sobre o solo adiciona nutrientes e melhora a fertilidade do solo, principalmente pela maior disponibilidade de cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e potássio (K⁺) (OLIVEIRA et al., 1999a). Contudo, a taxa de liberação de nutrientes da palhada depende da atividade dos microrganismos no solo e de fatores edafoclimáticos como temperatura, umidade, (HERMAN et al., 1977; JANSSENS et al., 2001; POWERS, 1990; OLIVEIRA et al., 1999b) e oxigênio (HERMAN et al., 1977), bem como das características inerentes da palhada como relação C/N, e teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis (HERMAN et al., 1977; JOHNSON et al., 2008).

A relação C/N está relacionada com a imobilização ou mineralização do N no solo. A palhada da cana-de-açúcar apresenta alta relação C/N, oscilando entre 90-120, promovendo a imobilização do nitrogênio total (NT) na ausência da adubação nitrogenada (MEIER et al., 2006). A ureia é a principal fonte NT mineral utilizada na cana-de-açúcar (TRIVELIN et al., 2002), com a recomendação de 120 Kg N ha⁻¹ para adubação de cobertura da cana-soca, para obter produtividade maior que 100 Mg ha⁻¹ de colmos por safra (RAIJ; CANTARELLA, 1997). São escassos estudos sobre o efeito do clima e da adubação nitrogenada sobre a dinâmica de decomposição da palhada de cana-de-açúcar e a taxa de mineralização de nutrientes.

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da temperatura de incubação (20°, 25° e 30° C) e adubação nitrogenada (0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹) na taxa de decomposição da palhada da cana-de-açúcar e de mineralização de nutrientes quando a mesma é incorporada ou deixada na superfície do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de incubação foi conduzido em Laboratório. O solo em estudo foi coletado em abril de 2012, em uma área com cultivo de cana-de-açúcar, com textura média (latitude 19°13'00,22"S e longitude 48°08'24,80"W), localizado entre os municípios de Uberlândia - Uberaba, no Triângulo Mineiro, próximo aos usos com Cerrado e Pastagem (Figura 1).

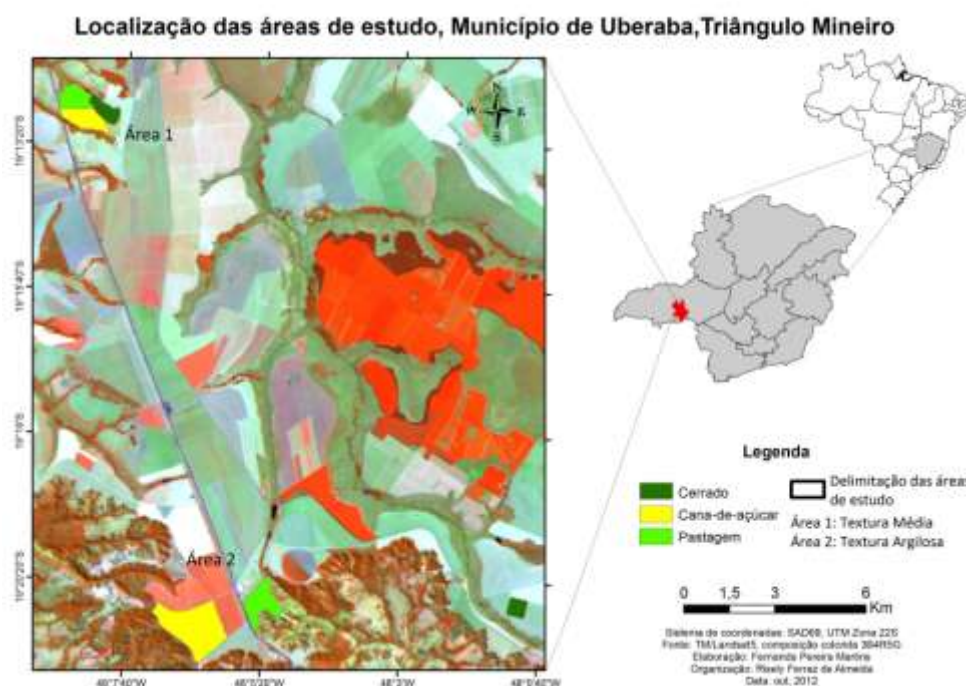


Figura 1. Localização da área de coleta do solo de textura média (Área 1) no cultivo de cana-de-açúcar localizado entre os municípios de Uberlândia - Uberaba, no Triângulo Mineiro.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0 - 20 cm. Em laboratório o solo foi seco ao ar, peneirado (<2 mm) para obtenção da TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), e umedecidas até 60% da capacidade de retenção de água (CRA) para montagem do experimento. A palhada em laboratório foi seca em temperatura ambiente e fracionada em tamanho médio de 1 cm².

Posteriormente, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de acordo com o Sistema Classificação de Solos Americano (EMBRAPA, 2013).

Uma alíquota do solo e da palhada foi direcionada para caracterização dos atributos químicos e físicos do solo. Para a determinação da textura do solo utilizou-se o método da pipeta conforme Kilmer and Alexander (1949). Para o potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), acidez potencial ($H + Al$), pH (H_2O), o fósforo disponível (P) (EMBRAPA, 1997). O nitrogênio total (NT) do solo e da palhada foi determinado de acordo com o método de Kjeldahl (BLACK, 1965) e o COT por Yeomans and Bremner (1988), Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização nutricional da palhada de cana-de-açúcar e dos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico utilizado no experimento.

CARACTERÍSTICAS	SOLO	PALHADA
Areia ($g\ Kg^{-1}$)	630	-
Silte ($g\ Kg^{-1}$)	140	-
Argila ($g\ Kg^{-1}$)	230	-
pH (H_2O)	5,6	-
NT ($g\ Kg^{-1}$)	0,69	1,44
COT ($g\ Kg^{-1}$)	7,40	142
C/N	-	99,0
P ($mg\ dm^{-3}$)	2,47	0,8
K^+ ($mg\ dm^{-3}$)	208,00	9,0
Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,60	1,3
Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	2,20	5,4
$H+Al$ ($cmol_c\ dm^{-3}$)	2,20	-
S- SO_4 ($mg\ dm^{-3}$)	51,00	-
Soma de base (SB)	3,33	-
CTC (T)	5,53	-

Incubação dos solos

Foram acondicionadas 700g de solo atingindo uma coluna de 13 cm em vaso de PVC (cloreto de polivinil), com altura de 15 cm, diâmetro de 10,5 cm e um volume total de 1298,2 cm^3 , fixados em uma base de isopor devidamente isolados para evitar a perda de água dos solos (Figura 2). O conjunto foi acondicionado em incubadora BOD.



Figura 2. Vasos de PVC com base de isopor para acondicionamento dos solos

O experimento foi estabelecido em delineamento inteiramente casualizados, com três repetições, constituindo um fatorial $3 \times 2 \times 2$, três temperaturas (20° , 25° e 30°C), dois tipos de manejo da palhada no solo (superficial ou incorporado) e duas doses de nitrogênio (0 kg N ha^{-1} e 120 kg N ha^{-1}).

Nos tratamentos foram adicionados e incorporados ao solo a quantidade corresponde à recomendação de 120 kg N ha^{-1} do granulado ureia ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$). Posteriormente, foram adicionadas 17 g de palhada de cana-de-açúcar em tamanho de 1 cm^2 , correspondendo a 20 mg de palhada ha^{-1} , incorporando ao solo nos seus respectivos vasos, enquanto no manejo superficial depositou sobre a superfície do solo nos seus devidos tratamentos.

A dose padrão de 120 kg N ha^{-1} é indicada para adubação de cobertura da cana-soca, no estado de São Paulo para obter uma produtividade maior que 100 mg ha^{-1} de colmos (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Os intervalos de temperatura utilizados concentram a maior atividade dos microrganismos do solo, propiciando condições para o crescimento e atividade de microrganismos mesófilos, entre 20° - 40°C (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Após a montagem, os conjuntos foram direcionados para as três diferentes temperaturas em BOD, mantendo 60% da capacidade de retenção de água (CRA) do solo durante o experimento, através da diferença de peso do conjunto. A disponibilidade de nutrientes foi avaliada no início e após os 79 dias de incubação.

Variáveis analisadas

Para a disponibilidade de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} e o pH em água (acidez ativa) no solo foram utilizadas as metodologias recomendadas pela EMBRAPA (1997). Para a determinação no solo e na palhada do nitrogênio total (NT), utilizamos o método de Kjeldahl (BLACK, 1965), enquanto para o COT a metodologia descrita por Yeomans & Bremner (1988). O C da biomassa microbiana (C-BMS), foi determinado pelo método descrito por Vance et al. (1987), utilizando o forno de micro-ondas para irradiação das amostras (ISLAM; WEIL, 1998). Enquanto, o C lábil (C-lábil) foi determinado de acordo com Mendonça e Matos (2005). A emissão acumulada de C-CO_2 foi obtida através da somatória das coletas de C-CO_2 ao 1°, 2°, 3°, 4°, 6°, 8°, 10°, 13°, 16°, 19°, 22°, 25°, 28°, 31°, 34°, 37°, 44°, 51°, 58°, 65°, 72° e 79° dias após as incubações (DAI) nas BODs, utilizando o aparelho IRGA, (Li-Cor 8100A).

Com a emissão acumulada de C-CO_2 aos 79 DAI calculou-se o $q\text{CO}_2$, através da relação com o C-BMS no mesmo período, seguindo as recomendações de Anderson & Domsch, (1993). A β -glucosidase foi quantificada em solução de PNG (p-nitrofenil- β -D-glicosídeo) e cloreto de cálcio (EIVAZI; TABATABAI, 1988), e a urease em solução de KMnO_4 (GUAN, 1986). Ambas foram quantificadas por meio de espectrofotometria.

Análise estatística

Os resultados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos (Teste de Shapiro-Wilk, SPSS Inc., USA) e homogeneidade das variâncias (Teste Bartlett, SPSS Inc., USA). Em seguida, quando significativo os resultados (Teste t), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. (Sisvar Inc., Brasil). As variáveis foram correlacionadas pelo teste de correlação linear de Pearson (Sigma-plot In., USA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente metabólico acumulado ($q\text{CO}_2$) do solo após o período de incubação apresentou uma oscilação entre 0,47 a 0,72 (Figura 3). Estes resultados estão bem abaixo aos estimados como críticos (Anderson, 2003), no qual valores maior que 2,0 de $q\text{CO}_2$ indicam comunidade microbiana menos eficiente. De acordo com Moreira e Siqueira (2006) os valores elevados de $q\text{CO}_2$ são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbio.

O $q\text{CO}_2$ apresentou acréscimo de 27,27 % no manejo com a palhada incorporada ao solo comparando-o quando mantido a palhada na superfície do solo (Figura 3). Também ocorreu acréscimo de 29,85 % no $q\text{CO}_2$ com adição do N ao solo comparando-o sem N. Ocorreu distinção entre os manejos com a adição N e a incorporação da palhada de cana-de-açúcar ao solo devido a maior atividade da BMS ao longo do experimento. Em condições de estabilidade indica-se um menor consumo de energia (CUNHA et al., 2011). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Balota et al. (1998), que mostraram que o $q\text{CO}_2$ diminui em sistemas mais estabilizados.

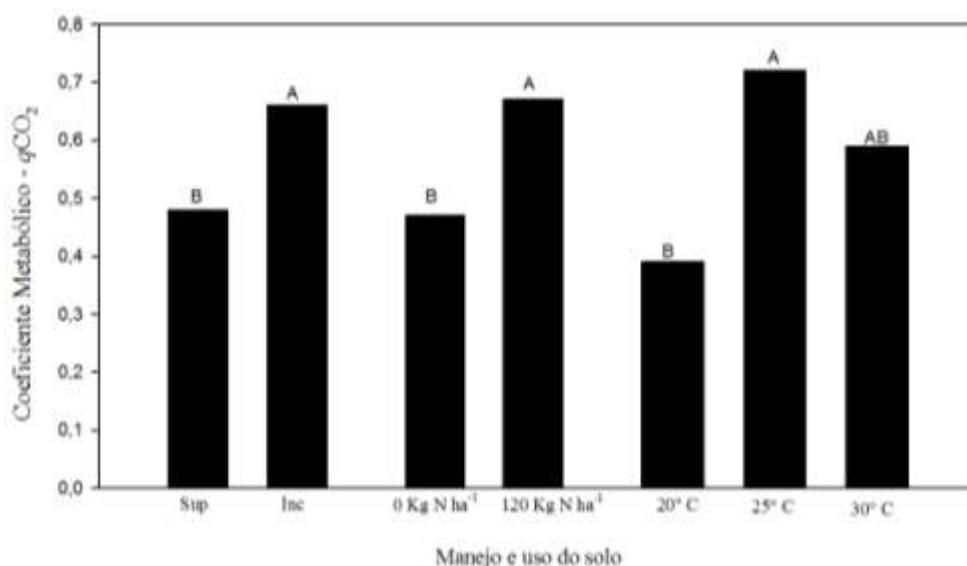


Figura 3. Coeficiente metabólico – $q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g g}^{-1}/\mu\text{mol de C-CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) em solos incubados com palhada da cana-açúcar nos manejos incorporado e superficial, associado às doses da adubação nitrogenada 0 kg N ha⁻¹ e 120 kg N ha⁻¹, nas temperaturas (20°, 25° e 30° C).

Aos 79° DAI o C-BMS, C-lábil e COT do solo não diferiram entre os tratamentos. O C-BMS apresentou concentrações entre 1,33 à 2,58% do COT (Cmic: Corg), com maiores incrementos nos sistemas com a palhada mantida na superfície do solo, contribuindo com a menor decomposição da palhada (emissão de C-CO₂ - Acumulada), ou seja a manutenção por maior tempo do material vegetal na superfície do solo (Tabela 2).

Esta proporção do Cmic: Corg indica a contribuição da BMS para COT (ANDERSON; DOMSCH, 1989), e também a disponibilidade do substrato para a microflora do solo (BROOKES, 1995).

Tabela 2. Teores no solo do carbono lábil (C-Lábil), carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (C-BMS), emissão acumulada aos 79 dias de incubação de C-CO₂ acumulada (C-CO₂ A) e a relação C da biomassa do solo (Cmic) com o carbono orgânico Total (Corg), em solos incubados por 79 dias.

	C-lábil* ----- gKg ⁻¹ -----	COT*	C-BMS* µg g ⁻¹	C-CO₂ A¹	Cmic: Corg
Manejo da palhada					
Superficial	5,05	12,95	238,30	116,55 B	2,58 A
Incorporada	4,77	14,71	289,07	126,22 A	1,63 B
Adubação nitrogenada					
0 Kg N ha ⁻¹	5,11	13,68	245,22	103,27 B	2,15 A
120 Kg N ha ⁻¹	4,72	13,98	282,15	139,50 A	2,06 A
Temperaturas					
20° C	4,66	13,02	285,11	85,00 C	2,60 A
25° C	5,25	15,38	29914	121,66 B	1,33 B
30° C	4,83	13,09	30681	157,50 A	2,38 AB

¹ Emissão Acumulada de C-CO₂ aos 79 dias após incubação. Expresso em µ mol de C-CO₂ m⁻² s⁻¹. *As variáveis não apresentaram diferença significativa. Enquanto, para a emissão de C-CO₂ e Cmic: Corg médias acompanhadas com letras maiúsculas na coluna, quando distintas, diferenciam pelo teste de Tukey (P>0,05).

O manejo incorporado da palhada de cana-de-açúcar contribuiu para o acréscimo de 6,89 % de NT no solo em relação ao tratamento da palhada mantida na superfície. Além, de uma mineralização de 20,68 % e 14,81 % de NT em relação ao teor inicial no solo, respectivamente nos manejos incorporados e superficiais da palhada (Figura 4 e Tabela 1). O acréscimo de NT no solo em manejos com adição de palhada de cana-de-açúcar também foi encontrado por Faroni et al. (2003), que constataram acréscimos de 3

a 30 % N mineralizado, para o ciclo seguinte da cultura em condições naturais do campo. Contudo, quando mantida na superfície do solo a decomposição é mais lenta e com maior potencial de imobilização ou menor taxa de liberação de NT (ALVAREZ et al., 1995).

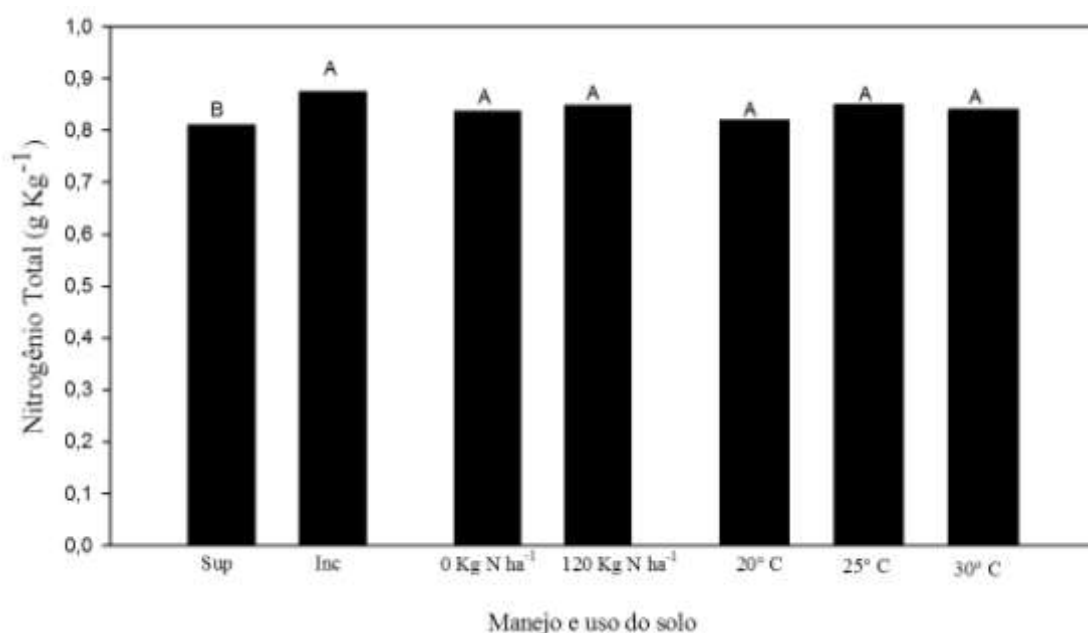


Figura 4. Nitrogênio total (NT) no solo (g Kg⁻¹) com os manejos incorporados (Inc) ou superficial (Sup) da palhada de cana-de-açúcar, consorciado a adubação nitrogenada (0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹) e distintas temperaturas (20, 25 e 30° C). Para o N no manejo da palhada no solo barras identificadas com letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

A adubação nitrogenada consorciada a incorporação da palhada acarretou imobilização do NT na palhada e um acréscimo de 38,9 % de N, quando comparado ao tratamento sem adição de 120 kg N ha⁻¹. Também ocorreram aumentos nos teores de NT na palhada nas distintas temperaturas quando consorciada a adição de 120 kg N ha⁻¹, respectivamente 21,6; 32,9 e 32,0 % para 20°, 25° e 30° C, mas sem adição de N (Tabela 3). O efeito da adubação nitrogenada sobre o teor de NT da palhada era esperado, uma vez que a palhada da cana-de-açúcar apresentava inicialmente relação C/N de 99,0 (Tabela 1).

Resíduos que apresentam alta relação C/N proporcionam imobilização do N do solo na palhada (SMITH; DOUGLAS 1971; SIQUEIRA; FRANCO, 1988; TRIVELIN et al., 1995).

Os resultados indicam que a dose de 120 kg N ha⁻¹ recomendada para a cana-soca proporciona alta taxa de imobilização do NT na palhada nas condições estudadas. Contudo, de acordo com Malhi e Nyborg (1990) esta imobilização pode ser superada com o aumento nos teores de NT mineral aplicado ao solo ou à própria mineralização do NT da palhada.

A imobilização do NT na palhada ocorreu devido à complexação com os componentes fenólicos derivados da degradação da lignina da palhada da cana-de-açúcar (MARTIN; HAIDER, 1980), que têm a capacidade de imobilizar o NT do solo e reduzir a mineralização líquida (FRANCO, 2008; OLIVEIRA et al. 2002). O N disponível no solo também pode ser imobilizado pela BMS (MARTIN; HAIDER, 1980).

Tabela 3. Teores de nitrogênio (NT) na palhada da cana-de-açúcar nos manejos incorporado e superficial, associado às doses da adubação nitrogenada 0 kg N ha⁻¹ e 120 kg N ha⁻¹ em três distintas temperaturas (20°, 25° e 30° C), após os 79 dias em solos incubados.

	Adubação Nitrogenada	
	0 Kg N ha ⁻¹	120 Kg N ha ⁻¹
Manejo da palhada		
Superficial	1,21 Ab	1,49 Ba
Incorporado	1,08 Ab	1,77 Aa
CV: 10,43 - DMS: 0,14		
Temperaturas de incubação		
20° C	1,12 Ab	1,43 Ba
25° C	1,26 Ab	1,88 Aa
30° C	1,06 Ab	1,59 Ba
CV: 10,43 - DMS: 0,20		

Na tabela, médias acompanhadas com letras maiúsculas na coluna (Interação Manejo da palhada com adubação nitrogenada) e minúsculas na linha (Interação Manejo da palhada com temperaturas) quando distintas diferem pelo teste de Tukey (P>0,05).

Com a imobilização do NT do solo na palhada ocorreu decréscimos na relação C/N da palhada (Tabela 4). Além da imobilização do NT na palhada (OLIVEIRA et al., 1999b) a perda de C através da emissão de C-CO₂ (Tabela 2) com a respiração microbiana também contribuiu para a menor C/N.

Tabela 4. Índice de pH (H₂O), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e fósforo (P) e relação carbono nitrogênio (C/N) no solo e carbono orgânico total (COT) e relação C/N da palhada após 79 dias de incubação dos solos com palhada da cana-de-açúcar nos manejos incorporado e superficial, associado às doses da adubação nitrogenada 0 kg N ha⁻¹ e 120 kg N ha⁻¹ em três distintas temperaturas (20°, 25° e 30° C), após os 79 dias em solos incubados.

	SOLO					PALHADA	
	pH (H ₂ O)	Ca ⁺² *	Mg ⁺² *	P*	C/N	COT	C/N
	-----cmol _c dm ⁻³ -----			mg dm ⁻³		g Kg ⁻¹	
Manejo da palhada							
Superficial	5,4B	1,9	0,8	3,0	9,6A	132,0A	84,4 B
Incorporada	5,9A	2,0	0,9	2,9	10,2A	118,1B	101,0 A
Adubação nitrogenada							
0 kg N ha ⁻¹	6,0A	6,0A	0,9	3,0	9,7A	121,1A	106,2A
120kg N ha ⁻¹	5,3B	5,3B	0,8	2,9	10,1A	128,9A	81,1 B
Temperaturas							
20° C	5,7A	2,0	0,8	2,9	10,3A	127,3A	102,7A
25° C	5,6B	2,0	0,9	3,0	10,8A	127,7A	83,3B
30° C	5,6B	2,0	1,0	3,0	8,6B	120,1A	102,7AB

*As variáveis não apresentaram diferença significativa, enquanto para a relação pH (H₂O) e C/N do solo, além de COT e C/N da palhada médias acompanhadas com letras maiúsculas na coluna, quando distintas, diferenciam pelo teste de Tukey (P>0,05).

A atividade da uréase (U) apresentou concentração entre 0,10 – 0,14 da C-BMS. Ocorreu acréscimo de 39,89 % com a incorporação da palhada associada à adição de 120 kg N ha⁻¹ em relação à palhada sem adição do N (Tabela 5). Isto ocorreu porque a ureia contribuiu para aumentar a atividade da U no solo (LANNA et al., 2010).

A atividade da beta-glucosidase (BG) aumentou em 37 % no manejo incorporado da palhada em relação ao superficial. Além de decréscimos na atividade BG com aumento da temperatura de incubação. A concentração da BG na BMS dos solos também seguiu esta tendência com maiores concentrações na palhada incorporada (Tabela 5). A maior atividade da BG ocorre na etapa final do processo de decomposição da celulose, promovendo a hidrólise dos resíduos de celulobiose (TABATABAI, 1994).

Tabela 5. Atividade da Urease (U), beta-glucosidase (BG) e suas respectivas relações com a biomassa microbiana do solo (BMS) (U/BMS e BG/BMS) nos solos com palhada da cana-de-açúcar nos manejos incorporado e superficial, associado às doses da adubação nitrogenada 0 Kg N ha⁻¹ e 120 Kg N ha⁻¹ em três distintas temperaturas (20°, 25° e 30° C), após os 79 dias em solos incubados.

	Urease ¹		BG	U/BMS	BG/BMS
	0KgN ha ⁻¹	120KgN ha ⁻¹			
Manejo da palhada					
Superficial	14,00 Bb	38,66 Aa	106,66 B	0,10 A	0,45 B
Incorporada	23,11 Aa	29,77 Ba	169,43 A	0,14 A	0,84 A
Adubação nitrogenada					
0Kg N ha ⁻¹	-	-	123,03 A	0,14 A	0,68 A
120Kg N ha ⁻¹	-	-	153,06 A	0,14 A	0,61 A
1	-				
Temperaturas					
20° C	-	-	171,67 A	0,11 A	0,78 A
25° C	-	-	155,79 B	0,14 A	0,85 A
30° C	-	-	86,67 C	0,10 A	0,31 B

¹ Interação dupla para a variável uréase (CV: 33,42; DMS_{palhada}: 2,93; DMS_{adubação}: 8,58.).

Enquanto, para a BG, U/BMS e BG/BMS médias acompanhadas com letras maiúsculas na coluna, quando distintas, diferenciam pelo teste de Tukey (P>0,05).

Não houve efeito de tratamento sobre os teores de Ca⁺², Mg⁺² e P. Contudo, ocorreram acréscimos de 9,09; 31,14 e 16,47, respectivamente destes nutrientes (Tabela 4) quando comparados com os teores já existentes no solo (Tabela 1) e uma correlação negativa do Mg⁺² com o C-lábil (r = - 0,37), e o Ca⁺² (r = 0,80), Tabela 6.

A baixa quantidade disponibilizada desses elementos, 79 dias após a incubação dos solos, está relacionada à sua função na planta, pois encontram-se ligados a compostos iônicos e moleculares (MALAVOLTA et al., 1989). A mineralização/liberação de Ca⁺² e Mg⁺² para os solos da palhada de cana-de-açúcar em um ciclo da cultura é cerca de 44 % e 39 %, respectivamente (OLIVEIRA et al., 1999a). Em sistema de cana com a deposição da palhada superficial no solo após cinco anos de cultivos os teores de Mg⁺² nos solos tendem a aumentar com o tempo (MENDONZA et al., 2000).

Tabela 6. Correlação entre as variáveis: Fósforo (P), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), relação C/N, nitrogênio (N), carbono orgânico total (COT), carbono lábil (CL), biomassa microbiana (BMS), beta-glucosidase (B) e Uréase (U) dos solos.

	K	P	Ca^{+2}	Mg^{+2}	C/N	N	COT	CL	BMS	B	U
pH	0,41*	0,18	0,04	0,31	0,03	0,08	0,08	0,01	-0,19	-0,00	-0,59*
K	-	0,28	0,06	0,4*	-0,06	0,18	0,17	-0,03	-0,33	0,53*	0,01
P	-	-	-0,09	0,02	-0,16	0,03	0,17	-0,05	-0,23	0,19	0,09
Ca^{+2}	-	-	-	0,88*	0,02	0,04	0,13	-0,43	-0,06	-0,07	-0,03
Mg^{+2}	-	-	-	-	-0,00	0,22	0,25	-0,37*	-0,15	0,15	-0,08
C/N	-	-	-	-	-	-0,30	0,07	-0,17	-0,35**	-0,19	-0,02
N	-	-	-	-	-	-	0,20	0,22	-0,09	0,23	0,10
COT	-	-	-	-	-	-	-	-0,07	-0,03	0,22	0,13
CL	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,21	-0,02	-0,09
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,04	0,07
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04

As variáveis são consideradas significativas com $P < 0,050$. * Correlações positivas. ** Correlações negativas.

O pH (H_2O) apresentou correlação negativa com a atividade da uréase ($r = -0,59$), Tabela 6. Quando a palhada é incorporada ao solo, a atividade biológica é acelerada devido à maior área de contato com os microrganismos, favorecendo maior taxa de mineralização de bases (Ca^{2+} e Mg^{2+}) para a solução do solo promovendo aumento no pH do solo (SOUSA et al., 2007). Concomitantemente, na fase inicial da decomposição da matéria orgânica ocorre a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular que colaboram para a neutralização do solo (FRANCHINI et al., 1999). Contudo, a mineralização de formas orgânicas de N, a desnitrificação e a descarboxilação de ácidos orgânicos, promove liberação de prótons favorecendo redução do pH do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007)

CONCLUSÕES

Ocorre acréscimo de NT no solo com a incorporação da palhada de cana-de-açúcar. O C-lábil, Ca^{+2} , Mg^{+2} e P, não há distinção significativa em relação aos tratamentos. Com a maior emissão de C-CO_2 obteve menor relação Cmic:C-org . Ocorre imobilização do N na palhada de cana-de-açúcar quando adicionada ao solo.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio e incentivo a produção.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; DOAZ, R. A.; BARBERI, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BALOTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from tree tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v. 33, n. 1, p. 17-28, 1995.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H., Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 22, n. 1, p. 251–255, 1990.
- BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, n. 1, p. 269–279, 1995.
- BASANTA, M. V.; DOURADO NETO, C.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA, T. T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J.R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, v. 116, n. 8, p. 235-248, 2003.
- BLACK, C. A. Methods of Soil Analysis: Part 2 – Chemical and Microbiological Properties. **American Society of Agronomy**, 1965. 1159p.
- CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 117f, Tese de doutorado (Doutor em agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Piracicaba/SP, 2003.
- DILLY, O.; MUNCH, J. C. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.27, n. 1, p. 374–379, 1998.
- EIVAZI, F.; TABATAI, M. A. Glucosidase and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, n. 1, p. 601-606, 1988.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª edição, 2013. 353p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º Ed. Rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; MANZONI, C. S.; PENATTI, C. P. TRIVELIN, P. C. O. Degradação da palha (15N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

FRANCHINI, J. C. BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de cultura em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, n. 2. p. 459-467, 2000.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-de-açúcar**. 2008. 112p. Tese (Doutorado em solos e nutrição em plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUAN, S. Y. **Soil Enzymes and is methodology**. Agriculture Press, Beijing, 1986, 274-340p.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 1, p. 408-416, 1998.

KIEHL, J. C. Nitrogênio: dinâmica e disponibilidade no solo. In: FERNANDES, F.M.; NASCIMENTO, V.M.; Fundação Cargill. **Curso de Atualização em fertilidade do solo**. Ilha solteira. 1897. 418p.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, M. B.; FERRARES, T. M.; KLIEMANNIV, H.J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira Ciência Solo**. v. 34, n. 6, p. 1933-1939, 2010.

MALHI, S. S.; NUBORG. M. Effect of tillage and straw on yield and N uptake of barley grow under different N fertility regimes. **Soil and Tillage Research**. v. 17, n. 1, p. 115-124, 1990.

MARTIN, J. P.; HAIDER, K. Microbial degradation and stabilisation of ¹⁴C-labeled lignins, phenols, and phenolic polymers in relation to soil humus formation. In: KIRK, T.K.; HIGUCHI, T. & CHANG, H.M., eds. **Lignin biodegradation: microbiology, chemistry and potential applications**. Boca Raton, CRC Press, 1980. 100p.

MEIER, E. A.; THORBURN, P. J.; WEGENER, M. K.; BASFORD, K. E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.75, n.1, p. 101-114, 2006.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 201-207, 2000.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

POWERS, R. F. Nitrogen mineralization along an altitudinal gradient: interactions of soil temperature, moisture and substrate quality. **Forest Ecology and Management**, v. 30, n. 1, p. 19-29, 1990.

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

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999b.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M. H. P.; VITTI, A. C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 24., 2002, Cairns **Proceedings**... Cairns: D.M. Hogarth, p.40. 2002.

SIGAM - SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO AMBIENTAL. 2002. Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. **Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas**. Disponível em: <<http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=2332>>. Acessado em: 10. fev. 2014.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988. 236p.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. (eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. 275-374p.

SMITH, J. H.; DOUGLAS, C. L. Wheat straw decomposition in the Field. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 35, n. 1, p. 269-272, 1971.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de ciência do solo, Viçosa/MG, 1017p. 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MAPA, Ministério da Agricultura Brasileira, 2012. **Produção de cana-de-açúcar no Brasil**. Disponível:<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>, Acessado: 10. fev. 2014.

MEIER, E. A.; THORBURN, P. J.; WEGNER, M. K.; BASFORD, K. E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the tropics of North Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 75, n. 1, p. 101-114, 2006.

TEDESCO, M. J. H.; BOHNEM, C.; GIANELLO, C. A.; BISSANI, AND S.J. VOLKWEISS. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2nd ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Boletim Técnico, 5), 1995. 174 p.

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

VANCE, E. D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, n. 1, p. 703–707, 1987.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C., PENATTI, C. P.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

YADAY, D.V.; TODI, S.; SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N for higher cane yield. **Biological Wastes, Aubière**, v. 20, n. 1, p. 133-141, 1987.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v. 19, n.1, p. 1467-1476, 1988.

WATTS, D. B.; TORBERT, H. A.; PRIOR, S.A. Mineralization of Nitrogen in Soils Amended with Dairy Manure as Affected by Wetting/Drying Cycles. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 8, n. 1, p. 2103–2116, 2007.