

Parâmetros microbiológicos e enzimáticos em área cultivada com cana-de-açúcar com diferentes quantidades de palha



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
88**

Parâmetros microbiológicos e enzimáticos
em área cultivada com cana-de-açúcar
com diferentes quantidades de palha

*Rosana Faria Vieira
Nilza Patrícia Ramos
Ricardo Antonio Almeida Pazianotto*

Embrapa Meio Ambiente
Jaguarúna, SP
2020

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13918-110, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2610
Fax: +55 (19) 3311-2640
www.embrapa.br/meio-ambiente/
SAC: www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Meio Ambiente

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
*Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria
Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo Marques
Simão, Geraldo Stachetti Rodrigues, Vera Lucia
Ferracini, Marco Antonio Gomes*

Revisão de texto
Nilce Chaves Gattaz

Normalização bibliográfica
Victor Paulo Marques Simão, CRB-8/5139

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Foto da capa
Nilza Patrícia Ramos

1ª edição eletrônica (2020)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente

Vieira, Rosana Faria

Parâmetros microbiológicos e enzimáticos em área cultivada com cana-de-açúcar
com diferentes quantidades de palha / Rosana Faria Vieira, Nilza Patrícia Ramos
e Ricardo Almeida Pazianotto. – Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2020.

PDF (26 p.) (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente,
ISSN 1516-4675, 88).

1. Cana-de-açúcar. 2. Palha. 3. Resíduo orgânico. 4. Microbiologia do solo.
5. Urease. I. Ramos, Nilza Patrícia. II. Pazianotto, Ricardo Antonio Almeida. III.
Título.

CDD (21 ed.) 632.96

Victor Paulo Marques Simão (CRB-8/5139)

© Embrapa, 2020

Sumário

| | |
|------------------------------|----|
| Resumo | 5 |
| Abstract | 6 |
| Introdução..... | 10 |
| Material e Métodos | 10 |
| Resultados e Discussão | 15 |
| Conclusões..... | 21 |
| Referências | 22 |

Parâmetros microbiológicos e enzimáticos em área cultivada com cana-de-açúcar com diferentes quantidades de palha

Rosana Faria Vieira¹

Nilza Patrícia Ramos²

Ricardo Antonio Almeida Pazianotto³

Resumo - Os efeitos da manutenção de quantidades diferentes de palha foram avaliados após a colheita da cana-de-açúcar, utilizando indicadores microbiológicos e enzimáticos de solo. O experimento foi conduzido utilizando três quantidades de palha: T0, toda a palha foi retirada do solo; T50 e T100, 50% e 100% da palha foram mantidas sobre o solo, respectivamente. O N da biomassa microbiana e a atividade da β -glucosidase (AG) aumentaram com as quantidades de palha, ao contrário da atividade da urease. A respiração basal apresentou tendência crescente com o aumento das quantidades de palha. O nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM) não apresentou diferença significativa entre os T50 e T100, mas foi maior do que o obtido no T0. Os resultados relativos ao T50 apresentaram decréscimo na atividade microbiana associada ao ciclo de C no solo, ao apresentar valores de C da biomassa microbiana (C_{mic}), $C_{mic} CT^{-1}$ e GA, que se aproximaram mais ao tratamento T0. A manutenção de apenas 50% da palha também interferiu nos parâmetros relacionados ao ciclo do nitrogênio, embora a ausência de diferença com relação ao NPM, entre o T50 e T100, pode indicar igual capacidade de mineralização de N, quando em condições adequadas para a condução deste processo.

Palavras-chave: atividade da urease, atividade da β -glucosidase, atividade microbiana, qualidade de solo, palha.

¹ Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

² Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Meio ambiente, Jaguariúna, SP.

³ Matemático, mestre em Biofísica Molecular, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Microbiological and enzymatic parameters in areas cultivated with sugarcane with different amounts of straw

Abstract - In this study the effects of maintaining various straw amounts on the soil after harvesting the sugarcane were evaluated using microbiological and enzymatic indicators. The experiment was carried out using three straw levels: T0, all the straw was removed from the soil; T50 and T100, 50% and 100% of the straw was left on the soil, respectively. The values for microbial biomass N and β -glucosidase activity (GA) became greater with the increase of straw, where as the inverse was true for UA. The basal respiration showed a tendency to rise with increasing straw amounts. The potentially mineralizable nitrogen (PMN) showed no significant difference between T50 and T100, but both were higher than the value obtained for T0. The results related to T50 showed a decrease in the microbial activity associated with the soil C cycle, since it presented values for microbial biomass C (C_{mic}), $C_{mic} TC^{-1}$ and GA closer to those presented by T0. Leaving only 50% of the straw on the soil also interfered in the parameters related to the nitrogen cycle, although the absence of a difference in PMN between T50 and T100 could indicate the same capacity for N mineralization under adequate conditions for this process.

Key words: urease activity, β -glucosidase activity, microbial activity, soil quality, straw.

Introdução

A cana-de-açúcar é destaque na agricultura brasileira desde sua introdução em 1532 (Figueiredo, 2008) e, atualmente, permite ao país ocupar a primeira posição como produtor mundial, respondendo por 40% da produção de colmos em 2018 (FAO, 2019). Este cenário resultou de uma área colhida de 8,6 Mha, que gerou 29,0 milhões de toneladas de açúcar e 33,1 bilhões de litros de etanol no ano agrícola 2018/2019 (Acompanhamento..., 2019). Grande parte desta cana está concentrada na região Centro Sul, onde o estado de São Paulo é o principal produtor com, aproximadamente, dois terços da área cultivada.

Historicamente, o manejo da cana incluía a queima da palha para a colheita manual, como forma de reduzir riscos à saúde do cortador, em função de insetos, animais peçonhentos e pela abrasividade das folhas (Vilela et al., 2015). Entretanto, as pressões ambientais e sociais, observadas a partir do início do século XXI, vêm substituindo este manejo pela colheita mecanizada e sem queima, onde é possível manter todo o resto vegetal sobre o solo, denominado palha, palhada ou palhiço.

O estado de São Paulo foi pioneiro no encerramento da queima, depois da assinatura do decreto nº 47.700, de 11 de março de 2003, que regulamentou a Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, onde foram determinados prazos para a eliminação gradativa da prática. Complementar a essa lei, em 2007, foi acordado voluntariamente entre o governo paulista e representantes da indústria canavieira o “*Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético do Estado em São Paulo*”, que antecipou os prazos de 2021 para 2014 para eliminação da queima da colheita em áreas mecanizáveis, e de 2031 para 2017 em áreas não mecanizáveis. Esta ação garantiu, na safra 2018/19, a manutenção da palha sobre a superfície do solo em uma área de aproximadamente 4,3 Mha (98% da área colhida sem queima) só neste estado (Acompanhamento..., 2019). Já em termos nacionais, ainda em 2018/19, cerca de 91,6% das áreas de colheita de cana-de-açúcar foram mecanizadas e sem queima (Acompanhamento..., 2019).

Com a mudança na estratégia de colheita a primeira questão levantada na época foi: a manutenção da palha traria algum benefício para o sistema de produção da cana-de-açúcar? A resposta da pesquisa foi “sim”, ela traz benefícios que incluem desde a melhoria da matéria orgânica promovida tanto pelo aumento do estoque de carbono (C) do solo (Cerri et al., 2011), como do C da biomassa microbiana (Souza et al., 2012) até a queda de 69% na erosão (Martins Filho et al., 2009). Cabe ainda ressaltar outros benefícios como: maior retenção de água (Aquino et al., 2017), aumento na ciclagem de nutrientes (Oliveira et al., 1999) e conservação da umidade que aumentaria a disponibilidade de água para a planta (Awe et al., 2015). Destaca-se também o benefício para a saúde humana, relacionado a menores emissões de gases de efeito estufa promovida pela queima (Galdos et al., 2010) e, principalmente, de particulados que causam doenças respiratórias decorrentes da poluição do ar (Le Blond et al., 2017).

No Brasil entre 8 e 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de palha, em base seca, é mantida no campo após a colheita (Carvalho et al., 2013; Franco et al., 2013; Menandro et al., 2017). Esta variação depende diretamente da produtividade de colmos, da idade da cana, das condições climáticas, dos tipos de solos, da variedade utilizada, entre outros (Magalhães et al., 2012). Entretanto, apesar dos benefícios resultantes da colheita mecanizada, existe um crescente interesse em remover parte deste resíduo como matéria prima para a produção de etanol de segunda geração e para a produção de bioeletricidade (Lisboa et al., 2018). Estima-se que o uso da palha pode triplicar a produção de etanol sem a necessidade de aumento da área de cultivo.

Assim, um segundo questionamento surgiu: é possível retirar parte da palha sem alterar os benefícios para o solo e para a planta? A resposta da pesquisa a esta questão ainda está em andamento e grandes controvérsias permanecem com relação ao estabelecimento dos níveis recomendáveis de remoção da palha do campo, especialmente relacionados à qualidade de solo. Este tipo de estudo tem se concentrado basicamente sobre o rendimento da cana (Carvalho et al., 2017; Lisboa et al., 2018), sobre parâmetros físicos e químicos do solo (Satiro et al., 2017) e também sobre a quantidade e qualidade do carbono orgânico do solo (Bordonal et al., 2018). Entretanto, estudos sobre os atributos microbiológicos e enzimáticos, normalmente utilizados como indicadores de qualidade de solo, ainda se encontram em fase incipiente.

Dentre estes atributos microbiológicos e enzimáticos o C e o nitrogênio (N) da biomassa microbiana (C_{mic} , N_{mic}), assim como a respiração basal (RB), o nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM) e as atividades das enzimas urease (AU) e β -glucosidase (AG) são amplamente utilizados como indicadores de qualidade de solo (Mijangos et al., 2006; Vasconcellos et al., 2013; Raiesi; Beheshti, 2014).

A biomassa microbiana constitui-se numa fonte de matéria orgânica lábil e tem um papel fundamental na dinâmica da matéria orgânica do solo (Grandy; Neff, 2008). Quaisquer mudanças na biomassa microbiana (C_{mic} e N_{mic}) podem impactar a sua importante função. A RB fornece uma estimativa da atividade microbiana total do solo e é um processo central no ciclo do carbono. O NPM refere-se à capacidade dos solos em transformar compostos orgânicos nitrogenados em amônio/nitrato sob condições ótimas de umidade e temperatura, em um dado período de tempo.

Já as atividades enzimáticas são consideradas indicadores de qualidade do solo, por controlarem o suprimento de nutrientes para as plantas e para o crescimento microbiano (Burns et al., 2013). A AU está envolvida no ciclo de N (Hueso et al., 2012), uma vez que ela catalisa a hidrólise da ureia para CO_2 e NH_3 . A enzima β -glucosidase completa o passo final da hidrólise da celulose convertendo o dissacarídeo celobiose em moléculas de glucose (Singhania et al., 2013), que constitui-se em importante fonte de energia para a atividade microbiana (Tabatabai, 1994).

Algumas razões entre os parâmetros microbiológicos são também utilizadas como indicadores de qualidade de solo. O coeficiente metabólico (qCO_2), calculado como a taxa de respiração por unidade de C_{mic} , é uma medida da eficiência da biomassa microbiana em utilizar substratos carbonáceos. Valores acima de $2 \text{ g C-CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kg C}_{mic}^{-1}$ podem indicar menor eficiência na utilização de compostos orgânicos pelos microrganismos (Anderson; Domsch, 1993). A razão entre o C_{mic} por unidade de C total (CT), denominado coeficiente microbiano ($C_{mic} \text{ TC}^{-1}$), reflete a disponibilidade de substratos carbonáceos para os microrganismos (Insam; Domsch, 1988), enquanto a relação N_{mic} por unidade de N total ($N_{mic} \text{ TN}^{-1}$) reflete a quantidade de N ativo no solo.

A maioria dos trabalhos que envolvem parâmetros microbiológicos e enzimáticos como indicadores de qualidade do solo, em áreas cultivadas com

cana, utiliza os três extremos em relação ao manejo, ou seja, a manutenção da quantidade total de palha no solo, a sua retirada total ou a colheita por meio da queima (Graham; Haynes, 2005; Souza et al., 2012; Paredes Junior et al., 2015), mas não quantificam as diferenças com retiradas parciais de palha. Paredes Junior et al. (2015), por exemplo, mostraram que áreas cobertas com palha apresentaram maior valor de C_{mic} em relação àquelas onde a palha foi retirada após a colheita da cana. Souza et al. (2012) relataram que o C_{mic} e o N_{mic} , em áreas cobertas com palha, foram 102% e 34% maiores do que em áreas onde a palhada foi queimada. Graham e Haynes (2005) mostraram que a manutenção de toda a palha sobre o solo aumentou o tamanho e a atividade da comunidade microbiana. Entretanto, estudos científicos que consideram todos os indicadores biológicos de qualidade de solo acima citados, em áreas com quantidades diferenciadas de palha mantidas sobre o solo, após a colheita da cana, ainda são incipientes.

Objetivo

Avaliar os efeitos da remoção parcial e total da palha da cana-de-açúcar, cultivada em primeira soca, sobre indicadores microbiológicos e enzimáticos de qualidade de solo.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido em um talhão comercial, localizado em Itacemópolis-SP (Latitude: 22°34'50" Sul; Longitude 47°31'07" Oeste), com histórico de cultivo de cana-de-açúcar desde 2000. A partir de 2005 foi iniciada a colheita sem queima. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, contendo 10,80% de areia, 18,39% de silte e 70,72% de argila e declividade inferior a 4%. A altitude da região é de 608 m e o clima, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cwa), com verões quentes e estação seca de maio a setembro (Figura 1).

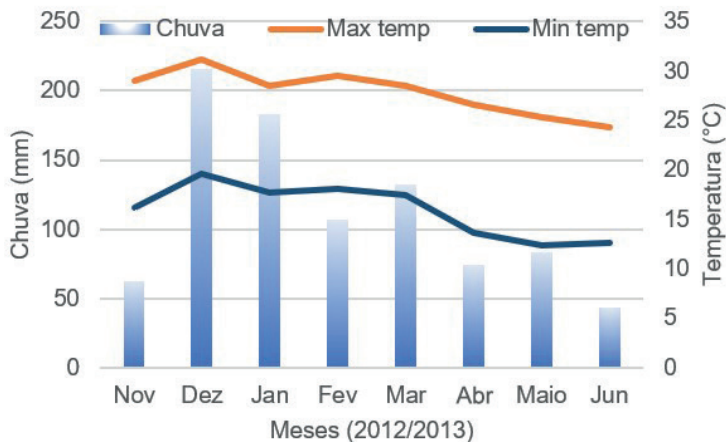


Figura 1. Valores médios para chuva e temperaturas máximas (Max temp) e mínimas (Min temp) durante o período experimental.

Implantação do experimento

O experimento foi instalado em área de primeira soca da variedade CTC 14, cerca de 7 dias após a colheita da cana-planta, que foi realizada no ano anterior (outubro de 2011), em sistema convencional, utilizando grade média para o preparo do solo. Ainda no plantio, usou-se a sulcação profunda e a fertilização de base com 358 kg ha⁻¹ de monofosfato de amônio (MAP), como fonte de N e de P e 250 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, como fonte de K. A colheita foi mecanizada (novembro de 2012) deixando toda a palha sobre o solo, que foi usada na implantação dos tratamentos. Na Tabela 1 observam-se os dados da caracterização química inicial do solo.

Tabela 1. Análise química do solo coletado após a colheita da cana-planta da variedade CTC 14 antes da instalação dos tratamentos, em 2012.

| Profundidade | pH _(H₂O) | CT g kg ⁻¹ | P mg dm ⁻³ | K ⁺ | Ca ²⁺ mmol _c dm ⁻³ | Mg ²⁺ | CTC |
|--------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|--|------------------|-------|
| 0-15 cm | 5,11 | 24,42 | 19,5 | 2,05 | 43,5 | 20,0 | 113,5 |

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições e três tratamentos: T0, toda a palha foi retirada do solo; T50, 50% da palha foi retirada do solo; T100, toda a palha foi mantida sobre o solo (Figura 2). Para estabelecer o tratamento T50 a palha foi retirada manualmente das entrelinhas de forma alternada, com subsequente redistribuição em toda a parcela. Cada parcela foi constituída de 10 linhas de cana com 15 m de comprimento e espaçamento de 1,5 m nas entrelinhas. A fertilização de cobertura foi feita aos 30 dias após a instalação dos tratamentos utilizando 303 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio e 250 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

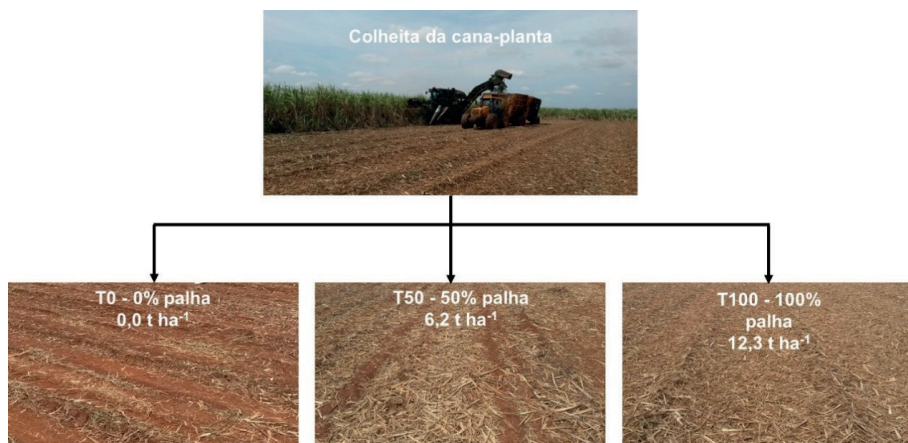


Figura 2. Imagens das parcelas após a instalação dos tratamentos T0, toda a palha foi retirada do solo; T50, 50% da palha foi retirada do solo; T100, toda a palha foi mantida sobre o solo. Iracemápolis-SP, novembro de 2012.

Amostragem do solo

O solo foi amostrado em junho de 2013, oito meses após a implementação dos tratamentos. De cada parcela foram retiradas, com auxílio de um trado holandês, seis subamostras simples e deformadas a 0-15 cm de profundidade e a 20 cm da linha de cultivo, que foram misturadas para formar uma amostra composta. No laboratório as amostras foram passadas em peneira de 2 mm, armazenadas a 4°C e analisadas dentro de 24h. Parte das amostras de solo foi seca em condições ambiente, passadas em moinho de martelo e submetidas às análises químicas.

Parâmetros químicos do solo

As análises de P, K, Ca, Mg e CTC foram feitas segundo Camargo et al. (2009). O pH foi determinado em água na proporção de 1:2,5. Os conteúdos de C total (CT) foram determinados utilizando o analisador elementar de C (Truspec-Leco).

Parâmetros microbiológicos

C e N da biomassa microbiana

O C_{mic} e o N_{mic} foram determinados pelo método de fumigação-extração (Brookes et al., 1985a; Vance et al., 1987). Para cada amostra de solo foram feitas três réplicas utilizando 25 g de solo. Estas amostras foram extraídas com 100 mL de 0,5 mol L⁻¹ de K₂SO₄ e após serem agitadas por 30 minutos, foram filtradas e congeladas a -10°C, até análise. Simultaneamente, outras amostras foram fumigadas com clorofórmio livre de etanol por 24h a 25°C, extraídas e congeladas similarmente. Os métodos de Walkley-Black (Nelson; Sommers, 1982) e de Kjeldahl (Bremner, 1996) foram utilizados para determinar o CT e o NT nos extratos, respectivamente. O C_{mic} e o N_{mic} foram calculados conforme descrito a seguir:

$$C_{mic} = (CT \text{ do solo fumigado} - CT \text{ do solo não fumigado}) / K_{EC} \text{ (0,33)}$$

$$N_{mic} = (NT \text{ do solo fumigado} - NT \text{ do solo não fumigado}) / K_{EC} \text{ (0,54)}$$

onde k_{EC} é o fator de correção do CT e do NT extraíveis para C_{mic} e N_{mic} , respectivamente.

As razões C da biomassa por unidade de CT e N da biomassa por unidade de NT também foram calculadas: $C_{mic} CT^{-1}$ e $N_{mic} NT^{-1}$.

Respiração basal

Para a determinação da RB foram colocados 25 g de solo em jarros de 500 mL hermeticamente fechados, contendo dois beakers. Um com água deionizada para manter a umidade e um com NaOH 0,5 mol L⁻¹ para adsorção do CO₂ e determinação das taxas de respiração. Após a incubação (25°C, por 15 dias) no escuro, o CO₂ ligado ao NaOH foi determinado por titulação com HCl 0,5 mol L⁻¹ (Alef, 1995). A RB foi estimada como µg CO₂ g⁻¹ solo hora⁻¹. O qCO₂ ou coeficiente metabólico foi expresso como a razão da RB por unidade de C_{mic} .

Nitrogênio potencialmente mineralizável

O NPM foi estimado pelo método de incubação anaeróbia (Keeney; Bremner, 1966). O NH₄⁺ resultante do procedimento foi calculado utilizando o sistema automático de injeção em fluxo contínuo (FIAS 300-Perkin Elmer).

Atividade da urease

A AU foi medida pelo método descrito por Alef e Nannipieri (1995a). O amônio liberado após a incubação do solo com a ureia, por 2h a 37°C, foi quantificado utilizando o sistema automático de injeção em fluxo contínuo (FIAS 300-Perkin Elmer).

Atividade da β-glucosidase

A AG foi medida pelo método descrito por Alef e Nannipieri (1995b) incubando-se as amostras de solo com *p*-nitrofenil-β-D-glucopiranosídeo, como substrato, e medindo a absorvância do *p*-nitrofenol liberado, a 398 nm.

Todas as análises foram feitas em triplicatas para cada variável com a umidade do solo proveniente do campo. O solo foi seco a 105°C até peso constante de modo a reportar os resultados analíticos com base no solo seco.

Análises estatísticas

A análise one-way de variância (ANOVA) foi feita para cada variável estudada e as médias foram separadas entre tratamentos utilizando o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Quando as transformações das variáveis não foram suficientes para garantir a normalidade das suposições de homocedasticidade, o teste não paramétrico de Friedman foi aplicado. A matriz de correlação dos parâmetros estudados foi baseada nos coeficientes de correlação de Pearson. O software R foi utilizado em todas as análises (R Core Team, 2019).

Resultados e Discussão

A análise química dos solos aos oito meses após a instalação dos tratamentos (Tabela 2) mostrou um empobrecimento na grande maioria dos seus componentes, em comparação à análise de caracterização inicial da área (Tabela 1). Este resultado era esperado, considerando que houve elevada extração de nutrientes em função do intenso crescimento da cana, favorecido pelas boas condições climáticas do período.

Embora alguns componentes apresentassem diferenças significativas entre os tratamentos elas não foram relevantes sob o ponto de vista de fertilidade, pois ainda estariam dentro das faixas de recomendação de adubação. Apenas os CT obtidos nos tratamentos com a presença da palha permaneceram nos níveis iniciais. No tratamento T0 o CT e o NT foram 8,1% e 5,3% menores que a média dos outros tratamentos.

Tabela 2. Análise química do solo coletado oito meses após o início do experimento

| Tratamentos | pH _(H2O) | CT g kg ⁻¹ | NT g kg ⁻¹ | P mg dm ³ | K ⁺ | Ca ²⁺ mmol _c dm ³ | Mg ²⁺ | CTC |
|-------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|---|------------------|----------------|
| T0 | 5,19 ± 0,11 a | 22,5 ± 0,03 b | 1,8 ± 0,002 b | 25,00 ± 1,12 a | 0,97 ± 0,002 a | 20,33 ± 1,16 b | 8,00 ± 0,20 ab | 95,63 ± 8,70 a |
| T50 | 5,16 ± 0,18 a | 24,5 ± 0,03 a | 1,9 ± 0,003 a | 24,00 ± 1,15 a | 0,77 ± 0,001 b | 25,00 ± 1,19 a | 8,67 ± 0,23 a | 99,77 ± 8,20 a |
| T100 | 5,00 ± 0,12 a | 24,4 ± 0,10 a | 1,9 ± 0,005 a | 27,00 ± 1,10 a | 1,10 ± 0,003a | 20,00 ± 1,19 b | 7,50 ± 0,21 b | 98,60 ± 7,99 a |

T0: solo sem palha; T50: 50% de palha mantida sobre o solo; T100, 100% de palha mantida sobre o solo; CT: carbono total do solo; NT: nitrogênio total do solo; CTC: capacidade de troca de cátions. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na mesma coluna, não são significativamente diferentes: (Teste de Tukey, $p \leq 0,05$). ±: desvio padrão.

Em relação aos componentes microbiológicos, o C_{mic} apresentou decréscimo significativo com a retirada de toda a palha do solo (T0) ou da manutenção de apenas 50% (T50), em relação ao tratamento T100. O valor obtido para este último tratamento ($327,84 \text{ mg kg}^{-1}$) foi 47% maior que a média dos outros dois tratamentos ($219,18 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura 3A). Estes resultados foram surpreendentes uma vez que a quantidade de CT foi a mesma nos tratamentos T50 e T100. Em geral, o C_{mic} apresenta correlação positiva com o CT (Dinesh et al., 2009; Raiesi, Beheshti, 2015), o que não ocorreu no presente estudo (Tabela 3). Esta ausência de correlação pode estar associada às mudanças na qualidade do C orgânico entre o T50 e T100. Alguns autores mostraram que a remoção total da palha reduziu a quantidade de C lábil na matéria orgânica (Bordonal et al., 2018), que é considerado o substrato mais importante para a atividade microbiológica.

O maior valor do C_{mic} no tratamento T100 poderia também estar relacionado à maior eficiência do uso do C pela microflora quando toda a palha foi mantida no solo. Isto poderia ser confirmado pelo maior valor de C_{mic} por unidade de CT ($C_{mic} \text{ CT}^{-1}$) (Tabela 3). Entretanto, apesar da diferença entre os tratamentos T50 e T100, quanto àquela razão, os resultados obtidos estavam próximos do mínimo normalmente encontrado na literatura (Anderson, 2003; Dinesh et al., 2009; Raiesi; Beheshti, 2015).

A variável N_{mic} , por outro lado, apresentou valores crescentes com o aumento da quantidade de palha mantida sobre o solo. Os valores foram 41,12; 64,59 e 91,69 mg kg^{-1} , respectivamente, para os tratamentos T0, T50 e T100 (Figura 3B), mostrando maior imobilização do N com o aumento da quantidade de palha. A imobilização do N pelos microrganismos é um fenômeno temporário, uma vez que, após a morte dos microrganismos, este elemento é novamente liberado. Assim, o N_{mic} é considerado um importante componente do N potencialmente mineralizável (Zhang et al., 2009), o que pode ser confirmado pela correlação positiva entre N_{mic} e NPM ($r = 0,60, p < 0,05$) (Tabela 3). Além disto, o N_{mic} por unidade de NT ($N_{mic} \text{ NT}^{-1}$), que reflete a disponibilidade e a quantidade de N ativo relacionado à mineralização e à disponibilidade de N no solo (Thomas et al., 2007), foram também maiores com o aumento da quantidade de palha (Tabela 4). Cabe destacar que os valores obtidos para esta razão estão de acordo com outros citados na literatura, que variam de 3% a 5% (Brookes et al., 1985b).

A RB não diferiu de forma significativa entre os tratamentos T50 e T100 e foram, em média, 64% maiores que o valor obtido no tratamento T0 (Figura 3C). O aumento da RB nos tratamentos T50 e T100 poderia indicar melhores condições para a atividade microbiana onde a palha foi mantida sobre o solo devido à maior quantidade de C disponível, o que aumentaria a atividade de microrganismos heterotróficos. Isto pode ser confirmado pela correlação positiva entre RB e C_{mic} ($r = 0,72$, $p < 0,01$) e entre RB e o N_{mic} ($r = 0,89$, $p < 0,001$) (Tabela 4). Por outro lado, a presença da palha aumentou a RB (64%) em uma proporção maior que o aumento do C_{mic} (47%), o que poderia indicar que os microrganismos gastaram mais energia para incorporar C nos tratamentos T50 e T100, supostamente devido ao uso menos eficiente de substratos orgânicos pelos microrganismos (Ros et al., 2006). Isto poderia ser demonstrado pelos maiores valores de qCO_2 nos tratamentos T50 e T100. Entretanto, a ausência de correlação entre o C_{mic} e o qCO_2 ($r = 0,23$) (Tabela 3) indicou que outros fatores além do C_{mic} poderiam ter afetado o qCO_2 . Tal resultado pode, por exemplo, estar ligado às diferenças das comunidades microbianas, que teriam diferentes habilidades de incorporar C. Alguns autores relataram que diferentes níveis de palha podem afetar a comunidade fúngica, mas não a bacteriana (Rachid et al., 2016). Do mesmo modo, a ausência de correlação inversa entre o qCO_2 e o $C_{mic} CT^{-1}$ ($r = 0,08$), ao contrário do observado por outros autores (Raiese; Beheshti, 2015; Kudrevatykha et al., 2018), sugere que os maiores valores obtidos para o qCO_2 , nos tratamentos com palha, não estejam ligados à insuficiência de nutrientes e de suprimento energético para os microrganismos.

Os NPM foram maiores nos tratamentos T50 e T100, em relação ao tratamento T0 (Figura 3D). Embora não tenha havido diferença significativa quanto a este parâmetro nos dois tratamentos com palha, estes resultados mostraram maior potencial para mineralização do N orgânico com a manutenção da palha no solo. Isto no longo prazo pode significar maior quantidade de N disponível para as plantas.

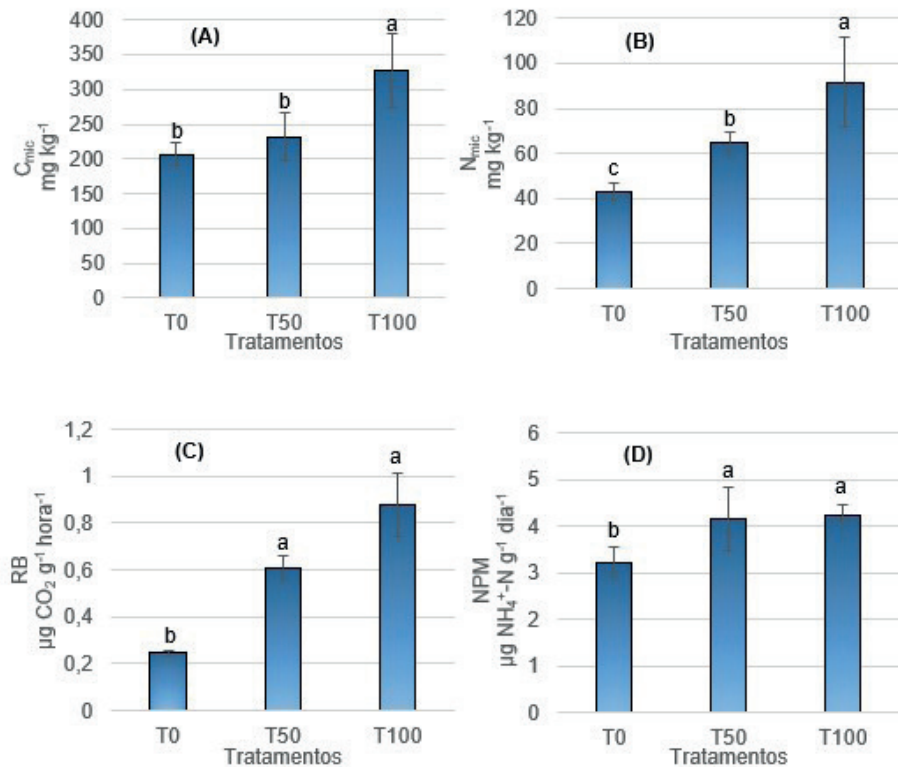


Figura 3. C da biomassa microbiana (C_{mic} , A), N da biomassa microbiana (N_{mic} , B), respiração basal (RB, C) e nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM, D) em solo com quantidades variadas de palha. T0: solo sem palha; T50: 50% de palha mantida sobre o solo; T100, 100% de palha mantida sobre o solo. Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos. O teste de Friedman foi usado para a variável respiração basal, e o teste de Tukey para as outras variáveis ($p \leq 0,05$). Os valores de N_{mic} foram log-transformados para ANOVA. Barra: desvio padrão.

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson e os níveis de p para a relação linear entre os parâmetros enzimáticos e microbiológicos.

| | CT | NT | C _{mic} | N _{mic} | RB | AU | NPM | AG | C _{mic} CT ⁻¹ | N _{mic} NT ⁻¹ |
|-----------------------------------|---------|--------|------------------|------------------|----------|----------|-------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| NT | 0,86*** | | | | | | | | | |
| C _{mic} | 0,56 | 0,38 | | | | | | | | |
| N _{mic} | 0,73** | 0,52 | 0,88*** | | | | | | | |
| RB | 0,78** | 0,61* | 0,72** | 0,89*** | | | | | | |
| AU | -0,75** | -0,67* | -0,68* | -0,81** | -0,87*** | | | | | |
| NPM | 0,79** | 0,69* | 0,47 | 0,60* | 0,59* | -0,73** | | | | |
| AG | 0,48 | 0,42 | 0,73** | 0,74** | 0,75** | -0,86*** | 0,59* | | | |
| C _{mic} CT ⁻¹ | 0,36 | 0,21 | 0,97*** | 0,77** | 0,60* | -0,55 | 0,30 | 0,66* | | |
| N _{mic} NT ⁻¹ | 0,70* | 0,46 | 0,88*** | 1,00 | 0,88*** | -0,79** | 0,57 | 0,73** | 0,78** | |
| qCO ₂ | 0,70* | 0,65* | 0,23 | 0,56 | 0,82** | -0,73** | 0,53 | 0,51 | 0,08 | 0,54 |

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$. CT: carbono total do solo; NT: nitrogênio total do solo; C_{mic}: C da biomassa microbiana; N_{mic}: N da biomassa microbiana; RB: respiração basal; AU: atividade da urease; AG: atividade da β -glucosidase; qCO₂: coeficiente metabólico; C_{mic} CT⁻¹: C da biomassa por unidade de C total; N_{mic} NT⁻¹: N da biomassa por unidade de N total.

Tabela 4. C da biomassa microbiana por unidade de CT (C_{mic} TC⁻¹), N da biomassa microbiana por unidade de NT (N_{mic} NT⁻¹) e coeficiente metabólico (qCO₂) nos tratamentos com diferentes quantidades de palha mantidas sobre o solo.

| Tratamentos | C _{mic} CT ⁻¹ % | N _{mic} NT ⁻¹ (*) % | (qCO ₂) µg CO ₂ mg C _{mic} g ⁻¹ hora ⁻¹ |
|-------------|--|--|--|
| T0 | 0,95 ± 0,13 b | 2,31 ± 0,21 c | 1,19 ± 0,05 b |
| T50 | 0,95 ± 0,15 b | 3,47 ± 0,23 b | 2,70 ± 0,53 a |
| T100 | 1,34 ± 0,18 a | 4,95 ± 1,11 a | 2,41 ± 0,65 a |

T0: solo sem palha; T50: 50% de palha mantida sobre o solo; T100: 100% de palha mantida sobre o solo. Diferentes letras minúsculas, dentro de cada coluna, indicam diferenças significativas entre os tratamentos. Teste de Friedman para qCO₂ e teste de Tukey para as outras variáveis ($p \leq 0,05$). (*) Variável log-transformada para ANOVA. \pm , desvio padrão.

As atividades enzimáticas apresentaram diferentes tendências em relação aos tratamentos. Os valores da AU mostraram resultados decrescentes com o aumento da presença da palha sobre o solo (Figure 4A), contrário ao ocorrido com a AG que aumentou do tratamento T0 para o tratamento T100 (Figura 4B). Os valores crescentes da AG mostraram a sensibilidade deste parâmetro em demonstrar os efeitos do manejo da cana na qualidade do solo.

Segundo Adetunji et al. (2017) o envolvimento desta enzima na atividade biológica e ciclo do C torna a sua adoção importante em estudos que tenham como função a determinação da qualidade do solo na agricultura. A correlação positiva entre AG e C_{mic} ($r = 0,73$, $p < 0,01$), AG e N_{mic} ($r = 0,74$, $p < 0,01$) e AG e BR ($r = 0,75$, $p < 0,01$), (Tabela 3) mostra a importância desta enzima em controlar a biomassa microbiana e a sua atividade no solo.

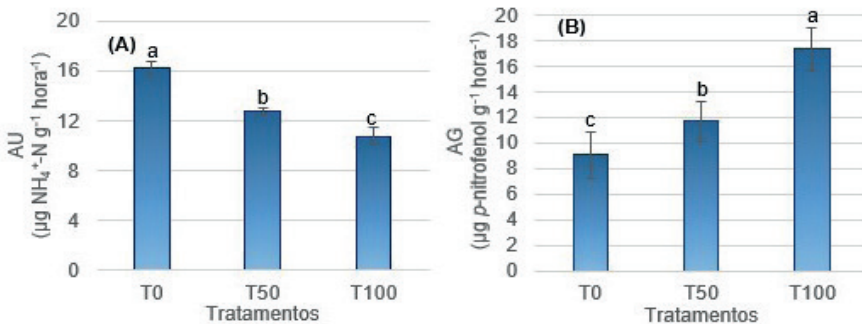


Figura 4. Atividade da urease (AU, A) e atividade da β -glucosidase (AG, B) em solo com quantidades variadas de palha. T0: solo sem palha; T50: 50% de palha mantida sobre o solo; T100: 100% de palha mantida sobre o solo. Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos. Barras: desvio padrão.

A AU é também uma enzima amplamente utilizada para monitorar a qualidade de solo, pois varia em função das práticas de manejo adotadas e está envolvida no ciclo do N (Adetunji et al., 2017). Porém, os resultados obtidos neste trabalho demonstraram um decréscimo na atividade desta enzima com o aumento dos níveis de palha. Os valores obtidos foram 16,23; 12,75 e 10,78 $\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{ hora}^{-1}$ e correlacionaram-se negativamente com todos os parâmetros avaliados. Isto poderia indicar que as quantidades de formas inorgânicas de N nos solos dos tratamentos T50 e T100, tornaram a síntese desta enzima desnecessária (Chang et al., 2007), uma vez que o maior teor do produto da reação desta enzima, ou seja, o NH_4^+ , pode afetar de forma negativa a sua atividade (McCarty et al., 1992).

Como considerações finais pode afirmar-se que a manutenção da palha, independentemente da quantidade, é mais benéfica para a qualidade do solo do que a sua retirada total, no que diz respeito aos aspectos microbiológicos, mesmo sob uma condição de curto período de tempo (oito meses após a

instalação do experimento). No tratamento T50 verificou-se uma ligeira perda de potencial na atividade microbiana no que diz respeito à dinâmica do carbono, em relação à manutenção de toda a palha no solo. Isto porque os resultados do recolhimento de 50% possuem valores de C_{mic} , $C_{mic} CT^{-1}$ e de AG que se aproximam mais dos observados nas áreas onde a palha foi toda retirada. Com o tempo e as socas sucessivas esta diferença pode se tornar mais significativa e levar a uma menor qualidade do solo em áreas com este nível de recolhimento.

Com relação aos processos ligados ao ciclo do nitrogênio a menor imobilização do N nos tratamentos T0 e T50 pode indicar maior perda deste elemento, quando toda ou parte da palha foi recolhida. Embora os conteúdos de N mineral não tenham sido quantificados na época da coleta de solo, o menor valor da UA pode, de forma indireta, indicar maior conteúdo de N mineral no solo do tratamento T100. Apesar do NPM ter sido semelhante entre os tratamentos T50 e T100 é importante ressaltar que esta avaliação é feita sob condições adequadas para a condução do processo e pode não refletir o que realmente acontece no campo. Entretanto, o fato destes serem maiores que os obtidos no tratamento T0, de certa forma, indicam que o ciclo do N foi impactado com a retirada da palhada.

Com apenas oito meses após o estabelecimento dos tratamentos já foram obtidos os resultados aqui apresentados, o que indica a importância da realização de estudo como esse. Sugere-se o monitoramento das variáveis estudadas, por períodos mais prolongados, para entender melhor os efeitos cumulativos da remoção de parte da palha. Estudos futuros deveriam também considerar diferentes condições edafoclimáticas, uma vez que a quantidade de palha produzida pela cana é específica para cada tipo de solo e condições ambientais.

Conclusões

Os resultados demonstraram que a remoção de toda ou de parte da palha da cana-de-açúcar pode afetar negativamente indicadores microbiológicos e enzimáticos de qualidade do solo.

Referências

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: safra 2019/2020: primeiro levantamento, v. 6, n. 1, p. 1-54, maio 2019.

ADETUNJI, A. T.; LEWU, F. B.; MULIDZI, R.; NCUBE, B. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794-807, 2017.

ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. p. 214-216.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Urease activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1995a. p. 350-352.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. β -glucosidase activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1995b. p. 316-320.

ANDERSON, T. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture Ecosystem and Environment**, v. 98, n. 1-3, p. 285-293, 2003.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; DA COSTA, D. C.; SHAHAB, M.; SANTIAGO, A. D. Sugarcane straw management and its impact on production and development of ratoons. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 58-64, 2017.

AWE, G. O.; REICHERT, J. M.; TIMM, L. C.; WENDROTH, O. O. Temporal processes of soil water status in a sugarcane field under residue management. **Plant and Soil**, v. 387, p. 395-411, 2015.

BORDONAL, R. O.; MENANDRO, L. M. S.; BARBOSA, L. C.; LAL, R.; MILORI, D. M. B. P.; KOLLN, O. T.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Sugarcane yield and soil carbon response to straw removal in south-central Brazil. **Geoderma**, v. 328, p. 79-90, 2018.

BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 3: chemical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 1085-1121.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985a.

BROOKES, P. C.; KRAGT, J. F.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: the effects of fumigation time and temperature. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, n. 6, p. 831-835, 1985b.

BURNS, R. G.; DEFOREST, J. L.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 58, p. 216-234, 2013.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2009. 77 p. (Boletim Técnico, 106).

CARVALHO, J. L. N.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Input of sugarcane post-harvest residues into the soil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 336-344, 2013.

CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; BORDONAL, R. O.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **Global Change Biology: Bioenergy**, v. 9, n. 7, p. 1181-1195, 2017.

CERRI, C. C.; GALDOS, M. V.; MAIA, S. M. F.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; POWLSON, D.; CERRI, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v. 62, n. 1, p. 23-28, 2011.

CHANG, E.; CHUNG, R.; TSAI, Y. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 132-140, 2007.

DINESH, R.; CHAUDHURI, S. G.; SHEEJA, T. E.; SHIVA, K. N. Soil microbial activity and biomass is stimulated by leguminous cover crops. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.172, n. 2, p. 288-296, 2009.

FAO. **FAOSTAT**: Food and Agriculture Data. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 5 mar. 2020.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agronômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONSCÉLOS, A.C.M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2008. 882 p.

FRANCO, H. C. J.; PIMENTA, M. T. B.; CARVALHO, J. L. N.; MAGALHÃES, P. S. G.; ROSSELL, C. E. V.; BRAUNBECK, O. A.; VITTI, A. C.; KOLLN, O. T.; ROSSI NETO, J. Assessment of sugarcane trash for agronomic and energy purposes in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 305-312, 2013.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; LAL, R.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. E. P. Net greenhouse gas fluxes in Brazilian ethanol production systems. **Global Change Biology: Bioenergy**, v. 2, n. 1, p. 37-44, 2010.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J. Organic matter accumulation and fertilizer-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long-term sugarcane management experiment. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, p. 249-256, 2005.

GRANDY, A. S.; NEFF, J. C. Molecular C dynamics downstream: the biochemical decomposition sequence and its impact on soil organic matter structure and function. **Science of the Total Environment**, v. 404, n. 2-3, p. 297-307, 2008.

HUESO, S.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. Severe drought conditions modify the microbial community structure, size and activity in amended and unamended soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 50, p. 167-173, 2012.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v. 15, p. 177-188, 1988.

KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. **Agronomy Journal**, v. 58, n. 5, p. 498-503, 1966.

KUDREVATYKHA, I. Y.; IVASHCHENKO, K. V.; ANANYEVA, N. D.; IVANISHCHEVA, E. A. Atmospheric Nitrogen Deposition and the Properties of Soils in Forests of Vologda region. **Eurasian Soil Science**, v. 51, p. 153-162, 2018.

LE BLOND, J. S.; WOSKIE, S.; HORWELL, C. J.; WILLIAMSON, B. J. Particulate matter produced during commercial sugarcane harvesting and processing: a respiratory health hazard? **Atmospheric Environment**, v. 149, p. 34-46, 2017.

LISBOA, I. P.; CHERUBIN, M. R.; LIMA, R. P.; CERRI, C. C.; SATIRO, L. S.; WIENHOLD, B. J.; SCHMER, M. R.; JIN, V. L.; CERRI, C. E. P. Sugarcane straw removal effects on plant growth and stalk yield. **Industrial Crops Production**, v. 111, p. 794-806, 2018.

MAGALHÃES, P. S. G.; NOGUEIRA, L. A. H.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; FRANCO, H. C. J.; BRAUNBECK, O. A. Agro-industrial technological paths. In: SUSTAINABILITY of sugarcane bioenergy. Brasília, DF: Center of Strategic Studies and Management, 2012 .p. 27-69.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

MCCARTY, G. W.; SHOGREN, D. R.; BREMNER J. M. Regulation of urease production in soil by microbial assimilation of nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**, v. 12, p. 261-264, 1992.

MENANDRO, L. M. S.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; KÖLLN, O. T.; PIMENTA, M. T. B.; SANCHES, G. M.; RABELO, S. C.; CARVALHO, J. L. N. Comprehensive assessment of sugarcane straw: implications for biomass and bioenergy production. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 11, n. 3, p. 488-504, 2017.

MIJANGOS, I.; PÉREZ, R.; ALBIZU, I.; GARBISU, C. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 1, p. 100-106, 2006.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter". In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, 1982. p. 539-579.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLLO, M. C. Field decomposition and release of sugar cane trash nutrients. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

PAREDES JUNIOR, F. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Atributos microbiológicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Semina: Ciência Agrária**, v. 36, n. 1, p. 151-164, 2015.

R CORE TEAM. **R: a Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. <https://www.R-project.org/>.

RACHID, C. T. C. C.; PIRES, C. A.; LEITE, D. C. A.; COUTINHO, H. L. C.; PEIXOTO, R. S.; ROSADO, A. S.; SALTON, J.; ZANATTA, J. A.; MERCANTE, F. M.; ANGELINI, G. A. R.; BALIEIRO, F. C. Sugarcane trash levels in soil affects the fungi but not bacteria in a short-term field experiment. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 2, p. 322-326, 2016.

RAIESI, F.; BEHESHTI, A. Soil specific enzyme activity shows more clearly soil responses to paddy rice cultivation than absolute activity in primary forests of northwest Iran. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 63-70, 2014.

RAIESI, F.; BEHESHTI, A. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. **Ecological Indicators**, v. 50, p. 173-185, 2015.

ROS, M.; KLAMMER, S.; KNAPP, B.; AICHBERGER, K. Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. **Soil Use and Management**, v. 22, n. 2, p. 209-218, 2006.

SATIRO, L. S.; CHERUBIN, M. R.; SAFANELLI, J. L.; LISBOA, I. P.; DA ROCHA JUNIOR, P. R.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Sugarcane straw removal effects on Ultisols and Oxisols in south-central Brazil. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 86-95, 2017.

SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; SUKUMARAN, R. K.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 500-507, 2013.

SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture Ecosystem and Environment**, v. 155, p. 1-6, 2012.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W. ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis**. Madison: Soil Science Society America, 1994. p. 775-833.

THOMAS, G.; DALAL, R.; STANDLEY, J. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 295-304, 2007.

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

VASCONCELLOS, R. L. F.; BONFIM, J. A.; ANDREOTE, F. D.; MENDES, L. W.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiological indicators of soil quality in a riparian forest recovery gradient. **Ecological Engineering**, v. 53, p. 313-320, 2013.

VILELA, R. A. G.; LAAT, E. F.; LUZ, V. G.; SILVA, A. J. N.; TAKAHASHI, M. A. C. Pressão por produção e produção de riscos: a “maratona” perigosa do corte manual da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v.40 n .131, p. 30-48, 2015.

ZHANG, J.; QIN, J.; YAO, W.; BI, L.; LAI, T.; YU, X. Effect of long-term application of manure and mineral fertilizers on nitrogen mineralization and microbial biomass in paddy soil during rice growth stages. **Plant Soil and Environment**, v. 55, n. 3, p. 101- 109, 2009.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE número 16089