



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/ PRODUÇÃO
VEGETAL

**FLUXO DE ÓXIDO NITROSO E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO
CULTIVADO COM CANA- DE -AÇUCAR SOB DIFERENTES NÍVEIS DE
PALHADA**

MIRYA GRAZIELLE TORRES PORTELA

TERESINA

2015

**FLUXO DE ÓXIDO NITROSO E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO
CULTIVADO COM CANA- DE- AÇUCAR SOB DIFERENTES NÍVEIS DE
PALHADA**

MIRYA GRAZIELLE TORRES PORTELA

Engenheira Agrônoma

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: **DR. LUIZ FERNANDO CARVALHO LEITE**

TERESINA

2015

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

P843f Portela, Mirya Grazielle Torres

Fluxo de óxido nitroso e atributos microbiológicos do solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada /
Mirya Grazielle Torres Portela - 2015.

82 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

Orientação: Prof. Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite

1. Agricultura 2. GEE's 3. DNDC 4. Matéria orgânica 5. Atividade biológica I. Título

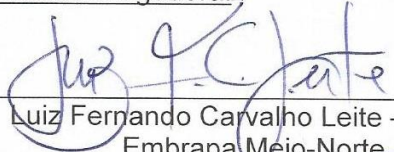
CDD 630

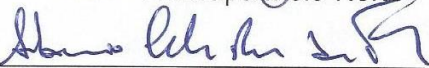
**FLUXO DE ÓXIDO NITROSO E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS
DE SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES
NÍVEIS DE PALHADA**

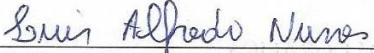
Mirya Grazielle Torres Portela
Engenheira Agrônoma

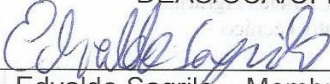
Aprovada em 10/04/2015

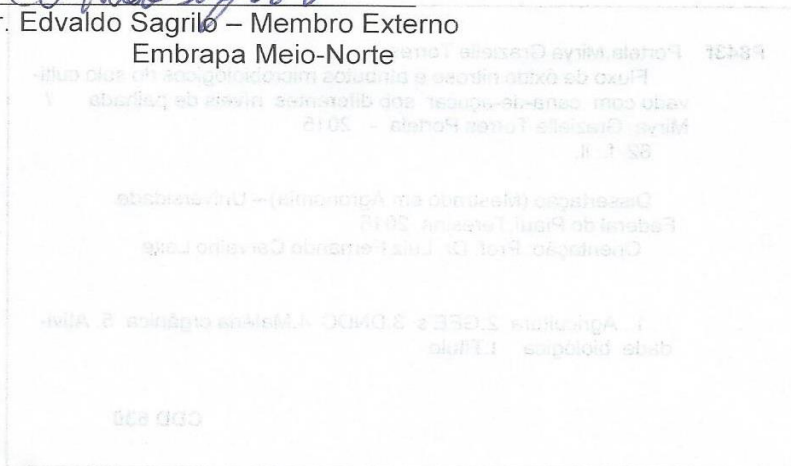
Comissão Julgadora:


Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Presidente
Embrapa Meio-Norte


Dr. Antônio Carlos Reis de Freitas – Membro Externo
Embrapa Cocais


Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – Membro Interno
DEAS/CCA/UFPI


Dr. Edvaldo Sagrilo – Membro Externo
Embrapa Meio-Norte



Deus de infinita bondade e amor
Aos meus pais Fátima e George.
Ao meu Irmão Gerniel.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda oportunidade que tem me dado e os desafios para que eu crescesse cada dia mais, não me deixando desistir.

À Universidade Federal do Piauí pela oportunidade de fazer parte do corpo discente e por disponibilizar todo o conhecimento necessário à minha formação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelas oportunidades.

À minha família, em especial meus pais Fátima e George e meu irmão Gerniel, pelo apoio e pela ajuda durante toda minha jornada.

Ao meu orientador Dr. Luiz Fernando Leite pelas orientações e conselhos.

À Embrapa Meio Norte por conceder a realização da minha pesquisa, em especial à equipe do laboratório de solos, Afonso, José Moreira, Adriana Guimarães e Keyliane Lima por todo apoio e aprendizado.

À Embrapa Agrobiologia pelas contribuições na primeira fase da pesquisa, em especial ao Dr. Bruno Alves e a técnica Andreia Loviane.

À Dra. Diana Signor, pela ajuda concedida na fase mais difícil de trabalho com os dados da pesquisa.

Aos pesquisadores Dr. Aderson Andrade Jr. e Dr. Edson Bastos pelas contribuições e ensinamentos.

Ao professor Dr. Luiz Alfredo Nunes pela amizade, conselhos e por tudo que fez por mim durante o mestrado.

Ao Professor Dr. Carlos Tadeu Dias da Esalq e professora Dra Regina Lúcia Gomes, pelas contribuições e ensinamentos nas análises estatísticas multivariadas.

A equipe do setor de irrigação da Embrapa Meio Norte, em especial Dônavan Nolêto, João Carlos dos Anjos, Vitória de Freitas, Alzeneide Lopes e Marcus Vinícius pela contribuição nas coletas no campo e pela amizade e consideração.

Ao meu Namorado Ranyellson Barbosa, por não ter medido esforços para me ajudar desde as coletas até a escrita do trabalho, pela compreensão, carinho, amor e dedicação em todos os momentos.

Aos meus amigos de mestrado pelos momentos felizes e de descontração, pelos conselhos de muitos, em especial Francisco Porto, pela amizade, atenção e contribuição com artigos para a pesquisa e Raimundo Brito pela ajuda no experimento. E ao Vicente de Sousa Paulo, pela ajuda nos serviços burocráticos.

Aos meus amigos da Agronomia que estiveram comigo nessa caminhada.

A todos que de forma direta ou indireta participaram desse difícil trabalho que trouxe o que há de mais doce pra mim.

Muito Obrigada de todo coração!

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível”.

São Francisco de Assis

RESUMO GERAL

PORTELA, Mirya Grazielle Torres. **Fluxo de óxido nitroso e atributos microbiológicos do solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada.** 2015, 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Produção vegetal) – Universidades Federal do Piauí, PI

No Brasil a cana-de-açúcar se tornou uma cultura de destaque devido à grande produção e a fabricação de etanol e açúcar. Por diversos anos, a colheita da cana tem sido realizada de forma tradicional, com queima da parte aérea, apresentando diversos impactos negativos, dentre os principais, o aumento da emissão de gases de efeito estufa e a perda da qualidade do solo, o que tem estimulado adoção do sistema de colheita da cana crua. Este estudo foi realizado com o intuito de avaliar as emissões de óxido nitroso (N_2O) por meio analítico e por estimativa em modelagem computacional e a atividade microbiana em um Plintossolo sob a cultura de cana-de-açúcar com diferentes níveis de palhada. O experimento foi instalado na Usina Comvap, no município de União/PI em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, cujo os tratamentos utilizados foram os níveis de palhada no solo (T1: 0 $Mg.ha^{-1}$; T2: 4,19 $Mg.ha^{-1}$; T3: 9,54 $Mg.ha^{-1}$; T4: 13,04 $Mg.ha^{-1}$; T5: 18,38 $Mg.ha^{-1}$). As amostras contendo os gases foram coletadas por meio de câmaras estáticas, postas no solo, com seringas de 60 mL e colocadas em vials de 20 mL, nos tratamentos T1, T3 e T5. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa e os dados dos fluxos diários submetidos a análise estatística. Para a realização das simulações foi utilizado o modelo computacional DNDC, no qual foram estimadas as emissões de N_2O desde o ano de 2009 até 2014 para os cinco tratamentos. As simulações da última safra foram comparadas com os dados coletados em campo por meio de índices estatísticos para validação do modelo. Foram coletadas amostras de solo para a determinação dos teores e estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) e dos teores de carbono da biomassa microbiana (Cmic) e nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) além da respiração basal (RB) e quocientes metabólico e microbiano, na profundidade de 0-10 cm. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, e submetidos a uma análise estatística multivariada pela análise de agrupamento e análise de componentes principais. Os fluxos de N_2O não foram influenciados pelos níveis de palhada no solo ($p < 0,001$), que variaram de 5,67 kg N- $N_2O ha^{-1}$ (T1) a 7,57 kg N- $N_2O ha^{-1}$ (T5). Nas simulações com o DNDC observou-se que as maiores emissões foram relacionadas aos tratamentos com maiores níveis de palhada no solo. Ao se comparar as emissões medidas com as simulações de emissões da última safra, verificou-se diferença de 9% (T1), 18% (T3) e 13% (T5), situando-se dentro da margem de erro do II inventário Brasileiro de Emissões de gases de efeito estufa de solos agrícolas (52%), e índices estatísticos que permitem afirmar a capacidade do modelo em simular fluxos de N_2O em cultivos de cana-de-açúcar na região. Observou-se que o aumento dos níveis de palhada no solo provocou diferenças ($p < 0,01$) nos teores e estoques de carbono orgânico total, nos teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, relação C:N e quocientes microbiano e metabólico. A análise de agrupamento dividiu os tratamentos em três grupos distintos, nos quais o tratamento com 0 $Mg.ha^{-1}$ agrupou-se com o tratamento com 4,19 $Mg.ha^{-1}$ palhada, o tratamento com 9,54 $Mg.ha^{-1}$ de palhada ficou isolado dos demais grupos, sendo na análise de componentes principais fortemente correlacionado apenas ao quociente microbiano e o grupo formado pelos tratamentos com 13,04 e 18,38 $Mg.ha^{-1}$ de palhada no solo correlacionado com a maioria dos atributos do solo avaliados e a produtividade, atribuindo-se a melhoria da qualidade do solo e da produtividade a esses tratamentos.

Palavras chaves: Agricultura; GEE's; DNDC; matéria orgânica; atividade biológica.

GENERAL ABSTRACT

PORTELA, Mirya Grazielle Torres. **Flux of Nitrous oxide and microbiological attributes of the soil cultivated with sugarcane under different levels of straw.** 2015, 63 p. Dissertation (MSc in Agronomy) - Federal University of Piauí, PI.

In Brazil, the sugarcane became a prominent culture due to the large production and the production of ethanol and sugar. For years, the harvest has been performed in a traditional way, with aerial firing, presenting negative impacts, among the main, the increase of greenhouse gases and loss of soil quality, which has stimulated adoption of mechanized harvesting system or raw cane. This study was conducted in order to assess the emission of nitrous oxide (N₂O) soil through analytical and computational modeling and estimation in studying microbial activity in Plinthosol in the culture of cane sugar with different levels of trash. The experiment was installed in the Comvap, in the town of União / PI in a randomized block design with four replications, where the treatments the straw levels in the soil (T1: 0 Mg. ha⁻¹, T2: 4,19 Mg.ha⁻¹; T3: 9,54 Mg.ha⁻¹; T4: 13,04 Mg.ha⁻¹; T5: 18,38 Mg.ha⁻¹). The gas samples were collected using static chambers, put on the ground with syringes of 60 mL and placed in vials of 20 mL, the T1, T3 and T5 and analyzed by gas chromatography and the data of the daily flows subjected to statistical analysis. To carry out the simulations we used the computer model DNDC, in which N₂O emissions were estimated from 2009 until 2014 for the five treatments. The simulations of the last harvest were compared with data collected in the field by means of statistical indices for model validation. The soils samples were collected to determine the content and stock total organic carbon (COT) and total nitrogen (NT) and the content carbon of microbial biomass (Cmic) and nitrogen of microbial biomass (Nmic) beyond the basal respiration (RB) and metabolic and microbial quotients at a depth of 0-10 cm. Data were subjected to analysis of variance and means were compared by Tukey test, and submitted to a multivariate analysis by cluster analysis and principal component analysis. The N₂O flow measured in the soil were not affected by the levels of straw (p <0.001), ranging from 5,67 kg N-N₂O ha⁻¹ (T1) to 7,57 kg N-N₂O ha⁻¹ (T5). In simulations by the model, these allowed us to visualize in all seasons showed higher emissions related to treatments with higher levels of straw on the ground. When comparing the emissions measured with the last harvest emissions simulations, found a difference of 9% (T1), 18% (T3) and 13% (T5) between values, standing within the margin of error of II Inventory Brazilian Greenhouse Gas Emissions from agricultural soils (52%), and statistical indices that can confirm the model's ability to simulate flows in deN₂O sugarcane crops in the region. It was observed that the increase in straw levels in the soil caused differences (p <0.01) in the content and stock total organic carbon, in the carbon and nitrogen of the microbial biomass contents, soil respiration, C: N ratio and quotients microbial and metabolic. Cluster analysis divided the treatments into three groups, in which treatment with 0 Mg.ha⁻¹ was grouped with treatment with 4,19 Mg.ha⁻¹ palhada, treatment with 9,54 Mg.ha⁻¹ straw was isolated from the other groups, with the principal component analysis strongly correlated only to microbial quotient and the group formed by the addition of 13, 04 and 18,38 Mg.ha⁻¹ of straw on the ground correlated with most of the attributes of reviews and soil productivity, attributing the improvement of soil quality and productivity to these treatments.

Key word: Agriculture; GEEs; DNDC; organic matter; biological activity.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 01

	Pág.
Figura 1: Localização da área de estudo.....	11
Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima e mínima correspondente aos meses de julho de 2013 a julho de 2014.....	12
Figura 3. Modelo de câmara utilizada para coleta de amostras de gases (A) e termômetro utilizado para medição da temperatura no interior da câmara (B).....	14
Figura 4. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima e mínima correspondente aos meses das safras.....	17
Figura 5. Fluxo de N ₂ O (ug N-N ₂ O m ⁻² h ⁻¹) em área de Cana-de-açúcar, em função de níveis de palha sobre o solo (A- 0%, B- 50% e C- 100% da quantidade produzida na safra anterior, correspondendo à 0, 9,54 e 18,38 Mg ha ⁻¹ , respectivamente)	21
Figura 6. Emissão de N-N ₂ O em função dos níveis de palha de cana-de-açúcar mantida sobre o solo (0% ,50% e 100% das quantidades originais presentes na área experimental); As letras indicam as diferenças estatísticas (p<0,05) entre os grupos de médias para cada tratamento.....	22
Figura 7. Emissões diárias e emissões totais de N-N ₂ O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2009/2010.....	24
Figura 8. Emissões diárias e emissões totais de N- N ₂ O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2010/2011.....	25
Figura 9. Emissões diárias e emissões totais de N-N ₂ O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2011/2012.....	26
Figura 10. Emissões diárias e emissões totais de N-N ₂ O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2012/2013.....	27
Figura 11. Emissões diárias e emissões totais de N-N ₂ O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2013/2014.....	28
Figura 12. Emissões diárias de N-N ₂ O simuladas no DNDC e observadas em campo durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2013/2014 de acordo com a proporção de palhada no solo (0%, 50% e 100%).....	29
Figura 13. Emissões acumuladas N-N ₂ O simuladas no DNDC e observadas em campo durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2013/2014. A- 0% de palhada, B- 50% de palhada (9,54 Mg. ha ⁻¹) e C-100% de palhada (18,38 Mg. ha ⁻¹).....	31

CAPÍTULO 02

	Pág.
Figura 1: Localização da área de estudo.....	43
Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima e mínima correspondente aos meses de julho de 2013 a julho de 2014.....	44
Figura 3. Teores de Carbono Orgânico Total (A), nitrogênio total (B) e relação C:N (C) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palha.....	48
Figura 4. Estoques de Carbono (A) e nitrogênio (B) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palha	50
Figura 5. Teores de Carbono da biomassa microbiana (A), nitrogênio da biomassa microbiana (B) e respiração (C) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palha.....	52
Figura 6. Quociente microbiano (A) e quociente metabólico (B) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palha.....	53
Figura 7. Dendograma resultante da análise de agrupamentos pela distância euclidiana média, mostrando a formação de grupo segundo as variáveis do solo na profundidade de 0-10 cm e produtividade.....	54
Figura 8. Análise de componentes principais (ACP) com base nas variáveis do solo nos diferentes tratamentos 0, 4.19, 5.54, 13.04 E 18.38 Mg.ha ⁻¹ de palhada remanescente no solo, na camada de 0-10cm e produtividade	57

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 01

	Pág.
Tabela 1. Características granulométricas e químicas da área antes da instalação do experimento no Município de União-PI, 2009.....	12
Tabela 2: Quantidade de palha depositada no solo, conforme as proporções do ensaio.....	14
Tabela 3. Dados de entrada obtidos por Cunha (2012), Abreu (2013) e Silva (2014) para Carbono orgânico total – COT (g. kg^{-1} de solo) e densidade do solo – D_s (g.cm^{-3})	16
Tabela 4. Índices estatísticos de comparação entre emissões de $\text{N-N}_2\text{O}$ simuladas e medidas em campo na safra de cana-de-açúcar 2013-2014.....	32

CAPÍTULO 02

	Pág.
Tabela 1. Características granulométricas e químicas da área antes da instalação do experimento no Município de União-PI, 2009.....	44
Tabela 2: Quantidade de palha depositada no solo, conforme as proporções do ensaio.....	46
Tabela 3. Correlação entre cada componente principal e os atributos do solo analisados na camada de 0-10 cm e produtividade.....	56

SUMÁRIO

	Pág.
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1: Fluxo de óxido nitroso em solo com cultivo de cana- de- açúcar sobre palhada.....	7
Resumo.....	7
Abstract.....	8
1. Introdução.....	9
2. Material e Métodos	11
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	11
2.2 Instalação do experimento.....	13
2.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	13
2.4 Avaliação do Fluxo de N ₂ O no solo.....	14
2.5 Estimativas de emissões no modelo DNDC.....	16
3. Resultados e Discussão.....	20
4. Conclusões.....	34
5. Referências Bibliográficas.....	35
CAPITULO 2: Atividade microbiana de um Plintossolo cultivado com cana-de- açúcar sob níveis de palhada.....	39
Resumo.....	39
Abstract.....	40
1. Introdução.....	41
2. Material e Métodos.....	43
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	43
2.2 Instalação do experimento.....	44
2.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	45
2.4 Coleta das amostras e análise de solo.....	46
3. Resultados e Discussão.....	48
4. Conclusões.....	59
5. Referências Bibliográficas.....	60
6. Apêndices.....	65

INTRODUÇÃO GERAL

O expressivo crescimento da produção de cana-de-açúcar, no Brasil, nas últimas décadas, tem determinado importantes mudanças agroambientais (MACHADO & HABIB, 2009). A cultura da cana-de-açúcar é uma das principais “commodities” do agronegócio brasileiro, apresentando acréscimo em área cultivada de cerca de 326,43 mil hectares na temporada 2013/14, equivalendo a 3,8% em relação à safra 2012/13. A área cultivada com cana-de-açúcar que foi colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 é de 8.811,43 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores conforme suas características (CONAB, 2014).

Apesar da pressão da sociedade para implementação de leis mais rigorosas para a redução da queima dos canaviais no processo de colheita, verifica-se que em grande parte das áreas produtoras de cana-de-açúcar do país a prática da queimada é utilizada em larga escala (REDIN et al. 2011).

Essa prática, apesar de facilitar o trabalho dos cortadores e garantir a qualidade da cana para o processamento, gera efeitos ambientais negativos, como a liberação de gases de efeito estufa (GEE) e perda da qualidade do solo pelo desnudamento. Esta retirada da cobertura do solo gera desestabilização de sua estrutura pela redução da sua proteção natural, assim como, acelera as perdas do carbono orgânico do solo tanto por oxidação microbiana, quanto por erosão, diminuindo a sustentabilidade do sistema produtivo (HILLEL & ROSENZWEIG, 2010; PAIXÃO e FONSECA, 2011).

Além disso o manejo do solo e das culturas influencia diretamente nas emissões de gases no sistema de produção, sendo estas associadas ao tipo de manejo, dando-se destaque ao preparo do solo por meio convencional, com o uso intenso de maquinário agrícola, onde ocorre as maiores emissões de N₂O em solos compactados, provocadas pelo aumento de sítios de anaerobiose que favorecem a desnitrificação potencializando as emissões (MORO et al, 2011).

Para minimizar os efeitos negativos da queima dos canaviais, tem sido adotado nos últimos anos a colheita da cana-de-açúcar sem a utilização do fogo, chamada de cana crua, que deixa uma espessa camada de palhada depositada sobre o solo, exercendo impactos sobre diversos fatores físicos e químicos importantes para a atividade microbiana do solo, além de contribuir para a redução das emissões de GEE e melhorar a qualidade da matéria-prima para a indústria (CHAER et al., 2009; MARTINS FILHO et al., 2009; FERNANDES et al, 2011; LEAL et al., 2013).

A adoção desses sistemas, que priorizam a manutenção dos resíduos de plantas na superfície do solo, tem sido uma alternativa tecnicamente e economicamente viável, por

permitir melhor aproveitamento e redução, com o decorrer dos anos, do uso da adubação mineral nas culturas de interesse econômico (STEINER et al., 2011).

No entanto, apesar dos inúmeros benefícios da manutenção da palhada de cana-de-açúcar no solo, há a possibilidade de se gerar alguns problemas, como o aumento do tempo de rebrota da cana soca, a incidência de algumas pragas e a saturação de potássio em solos que recebem aplicação de vinhaça. Portanto, vários questionamentos existem sobre a quantidade ideal da palhada sobre o solo, considerando-se a retirada de parte desse resíduo e sua utilização para a queima nas caldeiras e geração de energia, em biodigestores e produção de etanol de segunda geração (ZOTELLI, 2012; SORDI E MANECHINI, 2013).

A mudança no sistema de colheita da cana-de-açúcar impulsionou pesquisas sobre o impacto da queima, com reflexo nos atributos do solo e no rendimento industrial. Os temas abordados são principalmente a qualidade do solo e a produtividade da cultura, quando se elimina a queima e se mantém a palhada sobre o solo, havendo a necessidade de estudos relacionando a presença e a retirada da palhada com o fluxo de GEE do solo (OLIVEIRA et al, 2014; SIGNOR et al.,2014).

Considerando-se o setor agropecuário responsável por cerca de 85% das emissões de óxido nitroso para a atmosfera, compreender a dinâmica das emissões desse gás na agricultura, bem como elaborar cenários dos efeitos que o aumento da concentração dele pode causar à atmosfera, é uma estratégia fundamental para tomadas de decisões pelos gestores públicos e privados. Nesse sentido, os modelos de simulação são uma alternativa de investigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seus efeitos sobre os ecossistemas terrestres. (CARDOSO et al, 2010).

Os modelos computacionais possibilitam otimizar os conhecimentos sobre vários processos ou fenômenos, nos quais, as escalas temporais ou espaciais dificultam logística e encarecem economicamente a elaboração e execução de experimentos. Portanto, os modelos servem como ferramentas que possibilitam simulações de emissões de GEE de modo a superar estes problemas. (JOPP et al., 2010).

Simuladores de C no solo, principalmente o Century, Rothc e Epic, têm sido utilizados para estimar a dinâmica de C e de N em vários compartimentos terrestres, além dos efeitos das mudanças climáticas no estoque global de C no solo. Outro modelo que pode fazer simulação é o DeNitrification – DeComposition (DNDC), desenvolvido por LI (2000) e LI et al. (1992), se mostrando eficiente, pois permitem estudar cenários históricos e futuros, por meio do conhecimento atual da dinâmica desses elementos (CERRI et al., 2003; LEITE et al., 2012)

Vários trabalhos destacam aplicações do DNDC para condições ambientais observadas em diversos países (BEHEYDT et al., 2004; GRANT et al., 2004; KIESE et al., 2005; SHIRATO, 2005; BABU et al., 2006; MIEHLE et al., 2006; SAGGAR et al., 2007; OLIVEIRA, 2014). Outros trabalhos caracterizam a atividade microbiana em cultivos de cana-de-açúcar, destacando os efeitos da queima ou da manutenção da palhada, antes ou após a colheita, principalmente sobre a qualidade do solo (EVANGELISTA et al., 2012; EVANGELISTA et al., 2013; FARIA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

No entanto, no Brasil, embora alguns estudos destaquem a utilização do DNDC para simular emissões de GEE na cultura da cana-de-açúcar, há carência de informações quanto a simulações em cultivos de cana-de-açúcar, ao impacto do sistema de colheita mecanizado, deposição de palhada, fluxo de gases e atividade microbiana em solos na região nordeste, ao contrário de outras regiões produtoras do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABU, Y.J.; LI, C.; FROLKING, S.; NAYAK, D. R.; ADHYA, T. K. Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production system of India. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. Dordrecht, v.74, p.157-174, 2006.
- BEHEYDT, D.; SLEUTEL, S.; BOECKX, P.; NEVE, S. de; LI, C.; HOFFMAN, G.; CLEEMPUT, O. van. N₂O emissions estimates from agricultural soils in Flanders using BE – DNDC. **Communications in Agricultural and applied Biological sciences**, Gent, v.69, p. 53-55, 2004.
- CARDOSO, A. da S.; ALVES, B. J. R.; VAQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Simulação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no bioma Cerrado. **Anais: Semana científica Johanna Dobereiner**. Seropédica, RJ, 2010
- CERRI, C.E.P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.; CERRI, C.C. **Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil**. Soil Science Society of America Journal, v.67, p.1879-1887, 2003.
- CHAER, G. M.; FERNANDES, M. F.; MYROLD, D.; BOTTOMLEY, P. Shifts in microbial community composition and physiological profiles across a gradient of induced soil degradation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 1327-1334, 2009.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Quarto Levantamento**. Brasília, 2014. Disponível em <http://www.conab.gov.br> >acesso em 04/09/2014.
- EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; PIRES, F. R. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1549-1562, 2013.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; Correchel, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, 2012.

FARIA, A. T.; SARAIVA, D. T.; PEREIRA, A.M.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A. da; SILVA, D. V.; FERREIRA, E. A.; SILVA, G. S. da. Efeitos de herbicidas na atividade da microbiota rizosférica e no crescimento da cana-de-açúcar. **Biosci. J.**, v. 30, n. 4, p. 1024-1032, 2014.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; MENDES, I. C.; DICK, R. P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandudalfs to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 142, p. 419-427, 2011.

GRANT, B.; SMITH, W. N.; DESJARDINS, R.; LEMKE, R.; LI, C. Estimated N₂O and CO₂ emissions as influenced by agricultural practices in Canada. **Climatic Change**, Amsterdam, NL, v. 65, p. 315-332, 2004.

HILLEL, D.; ROSENZWEIG, C. Introduction: Climate change and agroecosystems: Key issues. In: HILLEL, D.; ROSENZWEIG, C. **Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation**. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation Vol. 1. Imperial College Press, 1-5, 2010.

JOPP, F.; BRECKLING, B.; REUTER, H. **Modeling complex ecological dynamics**. Heidelberg: springer, 2010. 389p.

KIESE, R.; LI, C.; HILBERTZ, D. H.; PAPEN, H.; BUTTERBACH-BAHL, K. Regional application of Pnet-N-DNDC for estimating the N₂O source strength of tropical rainforest in the Wet Tropics of Austrália. **Global Change Biology**, New York, v.11, p. 128-144, 2005.

LEAL, M.R.L.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, F.V.; SEABRA, J.E.A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C.O.F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, v.53, p.11-19, 2013.

LEITE, L. F. C.; Pessoa, M.C.P.Y. ; Lima, M.A. ; Madari B. E. . Simuladores computacionais para o estudo da dinâmica de carbono e de nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuária. In: LIMA, M.; BODDEY, R.; ALVES, B. J.; MACHADO, P. O.; URQUIAGA, S. (Org.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. 1ed. Brasília: EMBRAPA, 2012, v. 1, p. 271-326.

LI, C. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. **Nutrient cycling in agrosystems**. Dordrecht. V. 58: 259-276, 2000.

LI, C, FROLKING S.; FROLKING T. A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. model structure and sensitivity. **J. Geophys Res.** 97: 9759-9776. 1992.

MACHADO, L. A.; HABIB, M. **Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil. 2009**. Artigo em Hypertexto. Disponível em:

<http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/index.htm>. Acesso em: 21/06/2013.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, 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**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.8-18, 2009.

MIEHLE, P.; LIVESLEY, S. J.; FEIKEMA, P. M.; LI, C.; ARNDT, S. K. Assessing productivity na carbono sequestration capacity of Eucalyptus globulus plantations using the process model Forest – DNDC: calibration and validation. **Ecological Modelling**, Amsterdam, NL, v. 192, p. 83-94, 2006.

MORO, V. J.; FREITAS, L. L. DE; SKOLAUDE, A. C.; DIETRICH, G.; LEÃO, R.; VENDRUSCOLO, V. B.; GIACOMINI, S. J. Emissão de óxido nitroso na cultura da cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, A. P. P de; LIMA, E.; DOS ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.9, p.939-947, 2014.

OLIVEIRA, M. E. D. de. **Estimativas de Emissões de N₂O e CH₄ na cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. Piracicaba- SP (Tese de Doutorado), 2014.

OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L. de; M. D. R. SOARES. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**. V.45, n.1, p. 1-12, 2015.

PAIXÃO, M. C. S; FONSECA, M. B. A produção de etanol de cana no Estado da Paraíba: alternativas de sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 24, p. 171-184, 2011.

REDIN, M.; SANTOS, G. de F. dos; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. de. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

SAGGAR, S.; GILTRAP, D. L.; LI, C.; TATE, K. R. Modeling nitrous oxide emissions from grazed grassland in New Zealand. **Agriculture Ecosystem & Environment**, Amsterdam, NL, v. 119, p. 205-216, 2007.

SHIRATO, Y. Testing the suitability of the DNDC model for simulating long-term soil organic carbono dynamics in Japanese paddy soils. **Soil Science & Plant Nutrition**, Tokio, JP, v. 51. P. 183-192, 2005.

SIGNOR, D.; PISSIONI, L. L. M.; CERRI, C. E. P. Emissões de gases de efeito estufa pela deposição de palhada de cana-de-açúcar sobre o solo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p.113-122, 2014.

SORDI, R. A.; MANECHINI, C. Utilization of trash: a view from the agronomic and industrial perspective. **Scientia Agrícola**, v.70, p.1-2, 2013.

STEINER, F; COSTA, M.S.S.M; COSTA, L.A.M; PIVETTA, L.A; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Sci. Technol**, v. 04, n. 01, p.16 – 28, jan/abr. 2011.

ZOTELLI, L. **Palhada e vinhaça:** Emissões de CO₂, N₂O e CH₄ em solo com cana-de-açúcar. 2012. 78p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2012.

CAPÍTULO 1

FLUXO DE ÓXIDO NITROSO EM SOLO COM CULTIVO DE CANA DE AÇUCAR SOBRE PALHADA.

RESUMO

PORTELA, Mirya Grazielle Torres. **Fluxo de óxido nitroso em solo com cultivo de cana-de-açúcar sobre palhada.** 2015, 32 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Produção vegetal) – Universidades Federal do Piauí, PI

Este estudo foi realizado com o intuito de avaliar as emissões de óxido nitroso (N_2O) do solo com cultura de cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada remanescente, por meio analítico e por estimativas em modelagem computacional. O experimento foi instalado na Usina Comvap, no município de União/PI em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos correspondentes aos níveis de palhada (T1: 0 $Mg.ha^{-1}$; T2: 4,19 $Mg.ha^{-1}$; T3: 9,54 $Mg.ha^{-1}$; T4: 13,04 $Mg.ha^{-1}$; T5: 18,38 $Mg.ha^{-1}$). As amostras de gás foram coletadas, por meio de câmaras estáticas colocadas no solo, com seringas de 60 mL e colocadas em vials de 20 mL, nos tratamentos T1, T3 e T5. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa e os dados dos fluxos diários foram analisados estatisticamente. Para as simulações foi utilizado o modelo computacional DNDC, no qual foram estimadas as emissões de N_2O desde o ano de 2009 até 2014. As simulações da última safra foram comparadas com os dados coletados em campo através de índices estatísticos. Os fluxos de N_2O não foram influenciados pelos níveis de palhada no solo ($p < 0,001$), que variaram de 5,67 $kg N-N_2O ha^{-1}$ (T1) a 7,57 $kg N-N_2O ha^{-1}$ (T5). Nas simulações com o DNDC observou-se que as maiores emissões foram relacionadas aos tratamentos com maiores níveis de palhada no solo. Ao se comparar as emissões medidas com as simulações de emissões da última safra, encontrou-se diferença de 9% (T1), 18% (T3) e 13% (T5) entre valores, situando-se dentro da margem de erro do II inventário Brasileiro de Emissões de gases de efeito estufa de solos agrícolas (52%), e índices estatísticos que permitem afirmar a capacidade do modelo em simular fluxos de N_2O em cultivos de cana-de-açúcar na região.

Palavras chave: Agricultura, efeito estufa, GEE's, resíduo vegetal, DNDC.

ABSTRACT

PORTELA, Mirya Grazielle Torres. **Flux of nitrous oxide in soil with sugarcane on straw.** 2015. 32 p. Dissertation (MSc in Agronomy) - Federal University of Piauí, PI.

This study was conducted in order to assess the emission of nitrous oxide (N₂O) soil with sugarcane under different levels of remaining straw, through analytical and computational modeling estimates. The experiment was installed in the Plant Comvap in the town of Union / PI in a randomized block design with four replications, and the treatments corresponding to the straw levels (T1: 0 Mg.ha⁻¹, T2: 4,19 Mg.ha⁻¹; T3: 9,54 Mg.ha⁻¹, T4: 13,04 Mg.ha⁻¹; T5: 18,38 Mg.ha⁻¹). The gas samples were collected, using static chambers placed in the ground, with 60 mL syringes and placed in vials of 20 mL, the T1, T3 and T5. The samples were analyzed by gas chromatography and the data were statistically analyzed daily flows. For the simulations, we used the computer model DNDC, which were estimated N₂O emissions from 2009 to 2014. The simulations of the last harvest were compared with data collected in the field using statistical indexes. The N₂O fluxes were not influenced by straw levels in the soil (p <0,001), ranging from 5,67 kg N-N₂O ha⁻¹ (T1) to 7,57 kg N-N₂O ha⁻¹ (T5). As for the simulations by the model, these allowed us to visualize in all seasons showed higher emissions related to treatments with higher levels of straw on the ground. When comparing the emissions measured with the last harvest emissions simulations, found a difference of 9% (T1), 18% (T3) and 13% (T5) between values, standing within the margin of error of II inventory Brazilian greenhouse gas emissions from agricultural soils (52%), and statistical indices that can confirm the model's ability to simulate flows in deN₂O cane sugar crops in the region.

Key words: Agriculture; greenhouse ; GEE's; plant residue; DNDC.

1. INTRODUÇÃO

Os principais gases de efeito estufa (GEE's) são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). As emissões desses gases estão associadas principalmente ao uso de combustíveis fósseis, mudanças de uso da terra e atividades agrícolas. Em alguns estudos tem sido reportado que um kg de CH_4 possui 25 vezes maior potencial de aquecimento que o de CO_2 e um kg de N_2O tem 298 vezes maior poder de aquecimento (IPCC, 2007).

Dentre as alternativas para conter o aumento da concentração atmosférica de GEE, a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis tem sido importante estratégia para desenvolvimento de um manejo sustentável em nível regional, porém levando em consideração os aspectos econômicos e ambientais relacionados a essas alternativas (CERRI et al., 2013).

No Brasil, o principal biocombustível utilizado é o etanol derivado da cana-de-açúcar. Segundo dados da CONAB(2014), a produção total para a safra 2013/14 foi de 27, 96 bilhões de litros de etanol, representando um incremento de 18,26% em relação à safra anterior. No país a colheita da cana-de-açúcar, que tradicionalmente era precedida pela queima das folhas, vem sendo realizada sem uso do fogo, o que contribui para a redução das emissões de GEE (LEAL et al., 2013).

A agricultura juntamente com as mudanças no uso da terra (MUT) torna-se responsável por 94% das emissões de GEE no país (CERRI et al., 2009). Apesar da importância, ainda existem poucos estudos sobre emissões de N_2O e outros GEE em áreas com cana-de-açúcar no Brasil, em especial aqueles envolvendo emissões diretas na agricultura e conseqüentemente na cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA, 2014).

Em alguns trabalhos as perdas de N_2O dependem do manejo utilizado e podem ser inferiores, inclusive, ao valor apresentado pelo IPCC (1%). Alves et al., (2010), por exemplo, trouxeram relatos de perdas específicas para cana planta cultivada no estado do Rio de Janeiro, em torno de 0,13%. Por outro lado, Carmo et al., (2013) observaram fatores de emissão de N_2O para fertilizantes nitrogenados aplicados em cana- soca, em Piracicaba, entre 0,6% e 0,9% do N, mas observaram em áreas com grande quantidade de palhada (21 t.ha⁻¹) e vinhaça, que o fator de emissão saltou para 3% de N aplicado.

Ao adotar-se a colheita de cana crua como alternativa na redução das emissões de gases, há a necessidade de se identificar a quantidade de palhada que poderá ser retirada para a produção de energia ou mantida sobre o solo assegurando a sustentabilidade do sistema produtivo e levando-se em consideração que a decomposição de parte da palhada de cana ao longo do ciclo da cultura emite GEE (ROSSETO et al, 2013). Apesar disso, do aumento do

tempo para a rebrota da cana soca e da incidência de algumas pragas, os benefícios relacionados à ciclagem de nutrientes, adição de matéria orgânica e conservação do solo são consideráveis, principalmente ao longo dos anos, o que destaca a importância da manutenção da palhada no solo (SORDI E MANECHINI, 2013 ROSSETO et al., 2013).

Entre as abordagens para se estimar as emissões de GEE, existem aquelas feitas em campo e por meios laboratoriais e as simulações por meio de modelos computacionais. A utilização de modelos de simulação tem se mostrado eficiente, pois permite um estudo de cenários históricos e futuros por meio de dados das condições atuais. No caso das emissões para a cultura da cana-de-açúcar são estimadas emissões de óxido nitroso provenientes da queima de resíduos e do uso de fertilizantes nitrogenados, incorporação ao solo de palhada e mineralização de nitrogênio associada ao cultivo em solos orgânicos (OLIVEIRA, 2014).

A utilização de modelos para estimar emissões de GEE representa uma das possibilidades de adquirir uma melhor visão dessa dinâmica, levando em consideração que a utilização de programas computacionais para simulações de emissões além de serem relativamente rápidos e baratos, permitem superar alguns problemas na execução de experimentos (JOPP et al., 2010).

O DNDC (Denitrification-Decomposition) é um dos simuladores computacionais utilizados para estimar emissões de GEE's e tem sido amplamente aplicado para simulações de emissões em diversos trabalhos (LI, 2000; GILTRAP, et al., 2010; OLIVEIRA, 2014). Ele possibilita a estimativa de fluxos de gases gerados por agroecossistemas por meio de integração de aspectos detalhados do manejo do sistema produtivo aos processos de nitrificação, desnitrificação, crescimento da cultura, dentre outros, viabilizando a compreensão dos processos de emissão de gases pelos cultivos agrícolas.

Considerando o exposto, o objetivo dessa pesquisa é avaliar as emissões de óxido nitroso (N_2O) sob diferentes níveis de palhada depositada ao solo na cultura da cana-de-açúcar, por meio analítico e por estimativas em modelagem computacional.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em área pertencente à Usina de Álcool e Açúcar da Companhia do Vale do Parnaíba (COMVAP), empresa pertencente ao grupo Olho D'água, situada no município de União - PI (04°51'09" S e 42°53'10" W, altitude 52 m), na região norte do estado do Piauí.

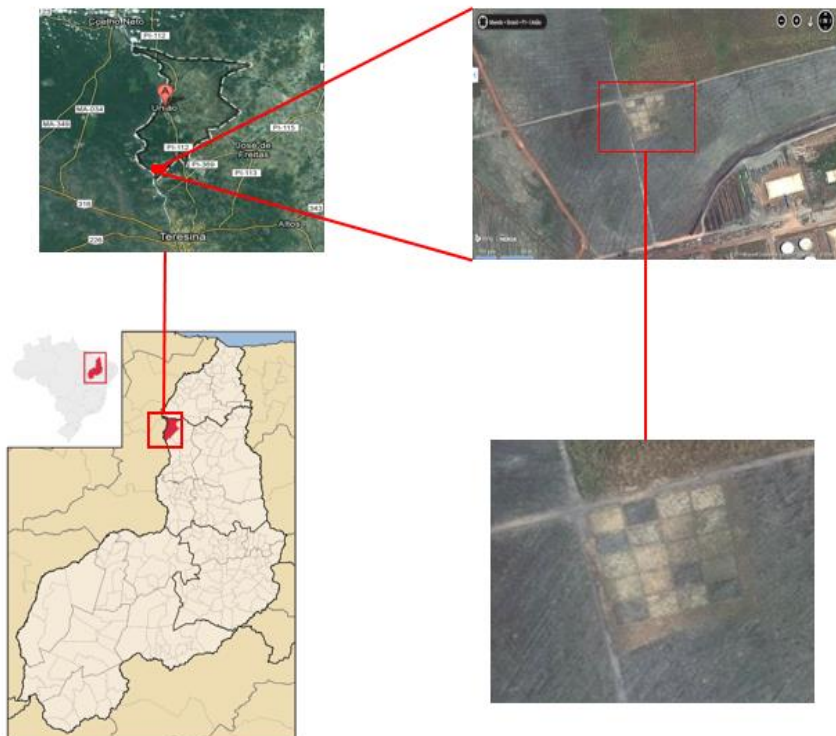


Figura 1: Localização da área de estudo. Imagens: IBGE, Google Earth (2014) e Marverick (2014), adaptada pelo autor.

O clima da região corresponde ao tipo Aw (tropical chuvoso), segundo a classificação de Köppen, com invernos secos e verões chuvosos. A precipitação se concentra entre os meses de dezembro a junho, conforme mostra a figura 2. A temperatura média anual é de 26 °C, entretanto, no decorrer do ano, registra-se um período mais quente (setembro a dezembro), com temperatura média entre 27 e 30°C.

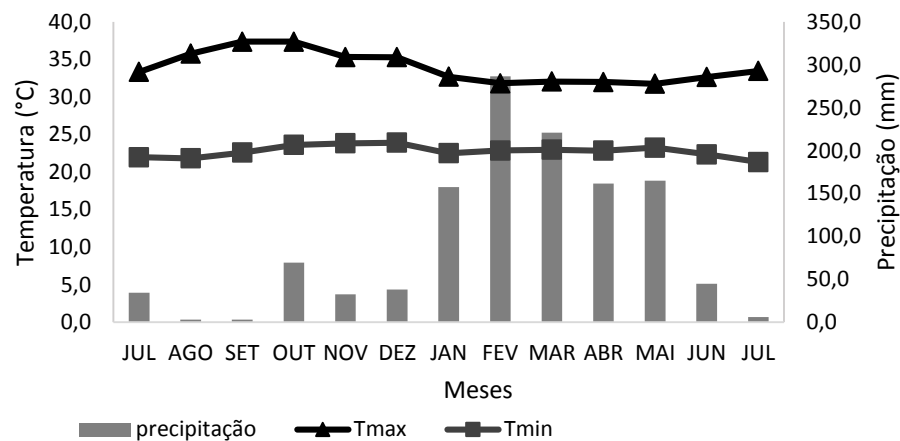


Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima e mínima correspondente aos meses de julho de 2013 a julho de 2014. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Embrapa Meio-Norte, instalada na Usina Comvap.

O solo da área em estudo foi classificado como um Plintossolo Flúvico de textura arenosa (EMBRAPA, 2006). As características granulométricas e químicas do solo da área experimental na camada 0-40 cm estão na Tabela 1.

Tabela 1. Características granulométricas e químicas da área antes da instalação do experimento no Município de União-PI, 2009.

Características	Camadas			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
Areia Grossa (g kg^{-1})	438	439	407	399
Areia fina (g kg^{-1})	354	351	373	352
Silte (g kg^{-1})	133	128	132	137
Argila (g kg^{-1})	75	82	88	112
Classe textural	Areia	Areia	Franco	Franco
	Franca	Franca	Arenoso	Arenoso
MO (g/kg)	9,9	7,93	5,13	3,35
pH(H_2O)	6,2	6,2	6,2	5,8
P (mg/dm^3)	83,10	58,72	48,2	28,07
K^+ ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	0,67	0,46	0,37	0,29
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	2,05	2,04	1,42	0,90
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	1,15	0,99	0,85	0,57
Na^+ ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	0,07	0,07	0,06	0,06
Al^{3+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	0,05	0,05	0,05	0,06
H+Al ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	2,61	2,87	2,58	2,30
S ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	3,95	3,57	2,71	1,83
CTC ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	6,56	6,44	5,29	4,32
V (%)	60,29	55,05	51,02	42,26
m (%)	1,26	1,53	2,38	3,07

2.2 Instalação do experimento

A área em estudo foi desmatada em 1981. Entre os anos de 1982 a 2009, foi adotado o sistema de cultivo convencional, com a colheita da cana-de-açúcar realizada com queima e com renovação do canavial a cada cinco anos. O preparo de solo foi realizado por meio de aração e gradagem, utilizando-se arado de disco e grade niveladora e em alguns anos utilizou-se subsoladores. Para correção do solo, aplicaram-se 500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. A adubação utilizada foi de 25, 150 e 75 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Anualmente, após a colheita, realizou-se uma adubação de cobertura, com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N, com ureia.

Para esse estudo, o experimento foi instalado em julho de 2013 com colheita da cana sem queima, sequenciando três ensaios anteriores. Utilizou-se uma área com a cana na quarta soca, cultivada com a variedade SP 81-3250.

A variedade SP 81-3250 foi desenvolvida pela da Coopersucar/ Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), lançada no ano de 1995, no Estado de São Paulo. Dentre suas principais características, destaca-se a maturação média, bom rendimento de transporte, bom comportamento com a colheita mecanizada, não possui restrição de brotação de soca, sendo a brotação de soca com palhada considerada excelente, além de possuir resposta instável aos maturadores (COPERSUCAR, 1995).

Com base nas informações descritas, a variedade, desde o primeiro ensaio foi cultivada no espaçamento de 1,4 m entre as fileiras, em que cada parcela experimental apresentava dimensões de 10 m de largura e 15 m de comprimento, totalizando 150 m², composta por 10 linhas de plantio, sendo a área útil formada pelas 5 linhas centrais de cada parcela.

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

O ensaio foi desenvolvido em delineamento experimental em blocos casualizados, com 3 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos avaliados constaram de cinco níveis de palhada (0%, 25%, 50%, 75% e 100% da quantidade total presente na área), calculadas em função dos valores indicados na Tabela 2. Após a colheita da cana sem a queima, toda palhada remanescente dentro das parcelas experimentais foi pesada, e posteriormente colocada em cada parcela, obedecendo às quantidades determinadas para cada tratamento.

Tabela 2: Quantidade de palhada depositada no solo, conforme as proporções do ensaio.

Tratamento	Quantidade de palhada conforme proporção (Mg ha ⁻¹)
Tratamento 1 (T-0%)	0,0
Tratamento 2 (T-25%)	4,19
Tratamento 3 (T-50%)	9,54
Tratamento 4 (T-75%)	13,04
Tratamento 5 (T-100%)	18,38

2.4 Avaliação do Fluxo de N₂O no solo

Na avaliação do fluxo de N₂O no campo foram considerados apenas três tratamentos (0%, 50% e 100%). Para a coleta de gases, um dispositivo composto por uma base metálica e uma câmara de PVC foram instalados na área útil do experimento. A base foi inserida no solo até uma profundidade de 0,05 m, perpendicular à linha de plantio da cana e permaneceu fixa no local durante o período de avaliação, que foi de aproximadamente 10 meses. Na parte superior das bases havia uma canaleta onde foi encaixada a câmara e adicionado água para garantir a vedação entre a câmara e o suporte, no momento da coleta das amostras.

As câmaras apresentavam válvulas com registros para acoplar as seringas plásticas de 60 mL utilizadas na coleta de gases e armazenagem das amostras em vials de 20 mL (Figura 3-A). Em cada coleta foram observadas a temperatura média do ar e a temperatura dentro da câmara por meio de termômetros (Figura 3-B).



Figura 3. Modelo de câmara utilizada para coleta de amostras de gases (A) e termômetro utilizado para medição da temperatura no interior da câmara (B).

Em cada dia de avaliação foram coletadas, por câmara, três amostras dos gases emitidos pelo solo: imediatamente após o fechamento da câmara (tempo zero); aos 15 minutos após o

fechamento da câmara (tempo 10) e aos 30 minutos após o fechamento da câmara (tempo 30) após o fechamento da câmara. As amostras foram coletadas no início da manhã (entre 7 e 10 horas), conforme o proposto por Alves et al. (2012), armazenadas em frascos e foram encaminhadas para análise.

A temperatura do solo foi medida nos primeiros 10 cm de profundidade por meio de termômetro digital. A umidade do solo foi calculada gravimetricamente a partir de amostras de solo (0-10 cm) coletadas no momento da amostragem de gases e posteriormente secas em estufa a 105 °C até peso constante e confirmadas por valores obtidos por método indireto, com uso de *Time Domain Reflectometer* (TDR). As informações sobre a precipitação pluviométrica durante o período de avaliação foram obtidas das estações meteorológicas localizadas próximas à área experimental.

As concentrações de N₂O foram analisados na Embrapa Agrobiologia, por meio de cromatógrafo gasoso equipado com coluna empacotada de Porapak Q e detector de captura de elétrons, com injeção manual. A partir da variação das concentrações desse gás no interior da câmara, do volume e da área de cada câmara, da temperatura do solo no momento da coleta e da pressão atmosférica foram calculados, para cada dia de avaliação, os fluxos de N₂O em cada câmara pela equação descrita por Barton et al.(2008):

$$FN_2O = \delta C / \delta t (V/A) M/V_m, \text{ onde:}$$

FN₂O: Fluxo de N₂O, expresso em µg N-N₂O m⁻² h⁻¹;

δC/δt: variação de concentração de N₂O na câmara no intervalo de medição.

V: Volume da câmara

A: Área do solo coberto com a câmara

M: Peso molecular do N₂O

V_m: o volume molar nas Condições Normais de Temperatura e Pressão.

Os fluxos diários de N₂O foram tabulados em planilha eletrônica. Para cada parcela, as quantidades totais de N₂O emitidas durante o período de avaliação (emissão acumulada) foram estimadas por meio integração matemática das curvas dos fluxos diários. Baseado nos fluxos diários de óxido nitroso nas câmaras alocadas no ensaio experimental, foram calculados os fluxos médios para cada dia de avaliação (considerando a média das quatro câmaras correspondentes às repetições). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Encontrada a distribuição normal dos dados, estes foram submetidos à análise de

variância, sendo o efeito dos níveis de palhada sobre as emissões de N₂O, quando significativo, determinado por análise de regressão.

2.5 Estimativas de emissões no modelo DNDC

A estimativa das emissões de N₂O foi realizada para os cinco tratamentos, com o modelo “DeNitrification - DeComposition” - DNDC, desenvolvido por LI (2000) e LI et al.(1992). É um modelo computacional capaz de simular processos biogeoquímicos de carbono e nitrogênio em agroecossistemas, florestas e pântanos.

O DNDC permite estimar os fluxos de gases de efeito estufa gerados pelos principais ecossistemas agrícolas por meio da integração de aspectos detalhados do manejo do sistema produtivo. As principais variáveis de entrada utilizadas no simulador são aquelas relativas ao solo (teor inicial de carbono orgânico, densidade do solo, pH e classe textural), à cultura utilizada (produtividade, época de plantio, colheita), ao clima (temperaturas diárias máxima, mínima, precipitação diária, umidade relativa do ar, radiação e velocidade dos ventos) e às práticas de manejo (tipo de cultivo, rotação, plantio direto ou convencional, fertilização).

O cálculo e a entrada de dados basearam-se em exemplos de simulações com a cultura da cana-de-açúcar contidos no manual do usuário disponibilizado pelo DNDC e trabalhos publicados, que propuseram valores mais adequados para as simulações de 40% para o teor de carbono na massa seca, 0,26 para a relação entre massa seca e massa fresca dos colmos da cana e relação C/N da cana igual a 100 (OLIVEIRA, 2014; ZOTELLI, 2012; FIGUEIREDO E LA SCALA, 2011). Além disso, utilizou-se dados de carbono orgânico total e densidade de solo para cada ano, obtidos de trabalhos desenvolvidos por Cunha (2012), Abreu (2013) e Silva (2014) (Tabela 3). Os dados climáticos foram obtidos por meio de estação meteorológica localizada na região do ensaio (Figuras 2 e 4).

Tabela 3. Dados de entrada obtidos por Cunha (2012), Abreu (2013) e Silva (2014) para Carbono orgânico total – COT (g. kg⁻¹ de solo) e densidade do solo – Ds (g.cm⁻³).

	Safras									
	2009/2010		2010/2011		2011/2012		2012/2013		2013/2014	
TRAT	COT	Ds	COT	Ds	COT	Ds	COT	Ds	COT	Ds
0%	7,6	1,59	8,4	1,51	6,4	1,55	9,4	1,6	8,8	1,45
25%	6,4	1,69	7,2	1,69	6,5	1,53	10,3	1,55	9,5	1,47
50%	9,4	1,45	14,2	1,46	12,2	1,51	10,2	1,53	10,1	1,42
75%	9,1	1,45	15,2	1,45	9,2	1,48	10,9	1,49	10,9	1,42
100%	9,9	1,46	16,9	1,49	12,6	1,47	14,3	1,52	10,1	1,5

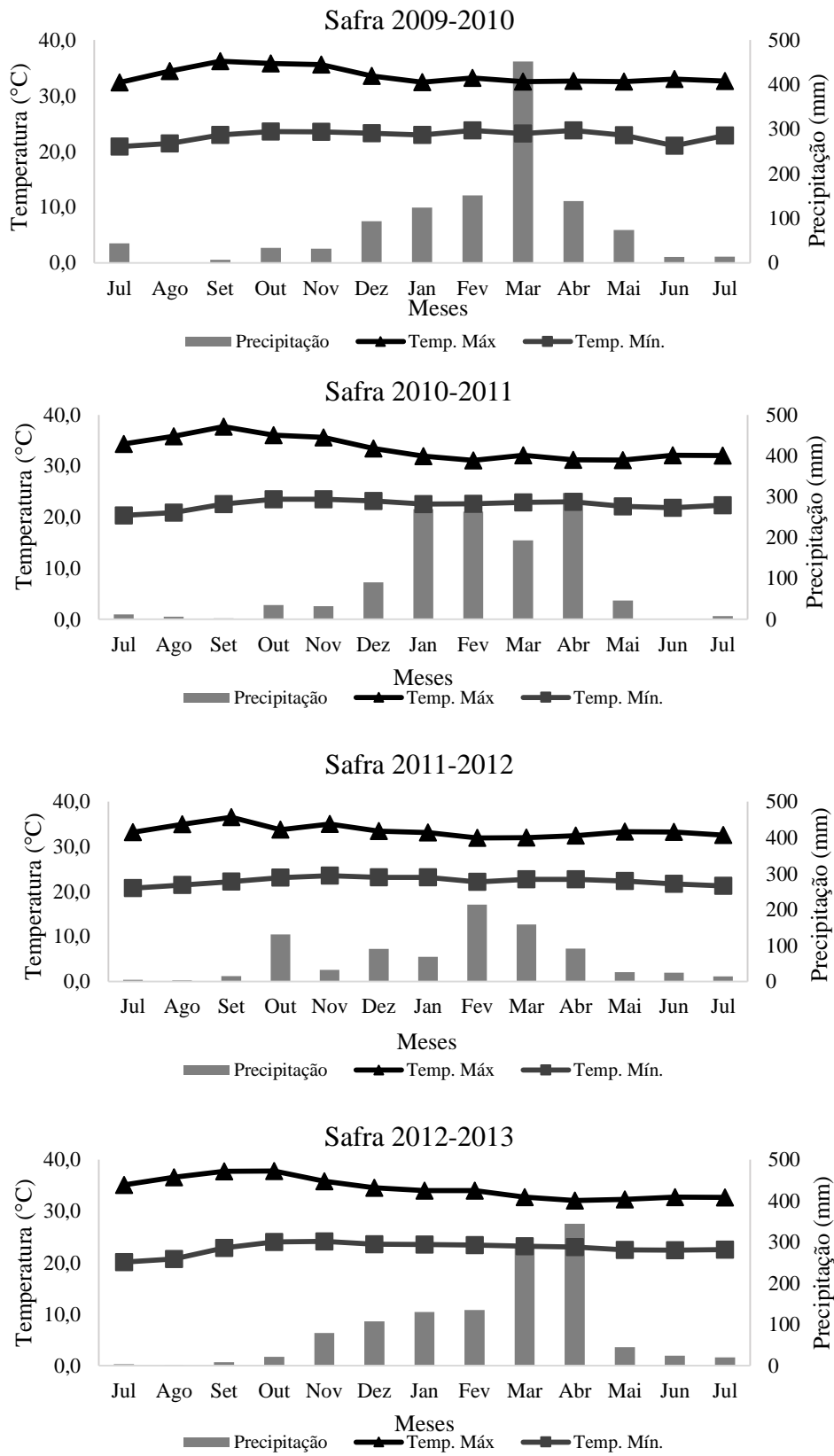


Figura 4. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima e mínima correspondente aos meses das safras. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Embrapa Meio-Norte, instalada na Usina Comvap.

As simulações de cenários foram realizadas partir da safra 2009/2010 até a safra 2013/2014, com as estimativas diárias feitas pelo modelo, para cada tratamento, baseadas na camada de 0-10 cm. A partir disso realizou-se uma comparação entre as simulações no DNDC e as análises em campo para a safra 2013-2014. Para verificar a exatidão entre os valores de campo e os simulados para a última safra, determinou-se o índice de Willmott. Este índice, proposto por Willmott et al. (1985), está relacionado ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, variando de zero, significando nenhuma concordância, a 1 significando concordância perfeita, sendo determinado por tal formula:

$$d_r = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right]$$

Onde,

d_r = índice de Willmott

P_i = Valores simulados (Kg/ha)

O_i = Valores observados (Kg/ha)

O = Média dos valores observados (Kg/ha)

Foram calculados também outros índices estatísticos propostos por Sentelhas et al.(1997), como o erro absoluto médio (EAM), raiz do erro quadrático médio (RMSE), Coeficiente de determinação (CD), coeficiente de massa residual (CRM) e Eficiência.

a) Erro absoluto médio (EAM):

$$EAM = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \right]$$

b) Raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE):

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{0,5}$$

c) Coeficiente de determinação (CD):

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}$$

d) Coeficiente de massa residual (CRM):

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

e) Eficiência:

$$EF = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) - \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)]}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})}$$

O erro absoluto médio (EAM) confere a diferença média entre valores simulados e de campo, e possui as mesmas dimensões da variável examinada. O RMSE e EAM são medidas de erros utilizadas para representar as diferenças médias entre os valores estimados e observados no campo. Quanto mais próximos de zero forem os dois índices, mais precisos são os resultados modelados. O coeficiente de determinação (CD) é uma medida da proporção total da variação dos resultados explicada pelos dados simulados, sendo que valores de CD próximos a um indicam boa concordância entre dados simulados e observados.

O índice CRM indica se os valores simulados estão superestimados (quando $CRM < 0$), ou subestimados (quando $CRM > 0$), em que quanto mais próximo de zero melhor o desempenho do modelo utilizado. Os índices CD e CRM, assim como d_r são também adimensionais. Uma concordância perfeita entre valores simulados e observados resultaria em valores de EAM, RMSE e CRM iguais a zero, e valores de CD iguais a um.

A eficiência (EF) é um indicador da qualidade de ajuste entre dados simulados e medidos. O valor máximo possível para EF é um, e modelos que resultam em valores negativos de EF não são recomendados (LOAGUE E GREEN, 1991).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Emissões no campo

Os fluxos médios de N₂O apresentaram comportamentos semelhantes para os três níveis de palhada (0% - 0, 50% - 9,54 e 100% - 18,38 Mg ha⁻¹), no decorrer da safra, e não apresentaram diferenças (p<0,05). Para o tratamento 0% (0 Mg ha⁻¹) observou-se emissões que variaram entre -3,55 e 55,41 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹, para o tratamento 50% (9,54 Mg ha⁻¹) entre -3,33 e 58,03 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹ e para o tratamento 100% (18,38 Mg ha⁻¹) entre -4,57 e 73,68 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹ (Figura 5).

Signor et al (2014) observaram fluxos de N₂O, em solo coberto com 0 Mg ha⁻¹ de palhada, que variaram de 0,1 a 130 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹, em solo coberto com 8,97 ha⁻¹ fluxos de 10 a 75 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹ e em solo coberto com 17,95 Mg ha⁻¹ fluxos de 10 a 55 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹, aproximadamente. Os autores observaram ausência de efeito dos níveis de palhada sobre os fluxos de óxido nitroso, aos 12 meses após a colheita, demonstrando ao final da safra que o fluxo médio no tratamento com 100% (com 17,95 Mg. ha⁻¹) de palhada sobre a superfície do solo não superou o tratamento controle, assim como o ocorrido neste experimento.

Carmo et al (2013), estudando os fluxos desse gás em áreas com cultivo de cana-de-açúcar, observaram as maiores emissões relacionados às áreas com mais de 14 Mg. ha⁻¹ de palhada sobre o solo. No presente estudo, a maior quantidade de palhada usada foi 18,38 Mg. ha⁻¹, que apesar de ser um valor maior que o indicado pelos autores citados, para que houvesse maior emissão de N₂O, as emissões não superaram o tratamento zero.

As emissões diárias para cada tratamento aumentaram (de 24,3 para 55,41 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹ no tratamento 0; de 27,0 para 58,63 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹ no tratamento 9,54 Mg.ha⁻¹; de 55,3 para 73,68 µg N-N₂O. m⁻² h⁻¹ no tratamento 18,38 Mg.ha⁻¹) após a adubação da área, que ocorreu aproximadamente 30 dias após a colheita da safra anterior. Rosseto (2013) e Schils et al. (2008) também observaram elevados valores nas emissões de N₂O na linha de cultivo da cana-de-açúcar na primeira semana após a adubação nitrogenada tanto em tratamentos com palhada, quanto nos tratamentos sem palhada sobre a superfície do solo.

Essas emissões estão associadas à irrigação que ocorreu após a adubação. O solo em condições úmidas por conta da irrigação, ocorrência de chuvas, ou condições de tempo úmido, favorecem maiores fluxos de N₂O. Quando associado à adubação, a irrigação e a chuva podem ter favorecido o transporte do adubo nitrogenado para o interior do solo. Levando-se em consideração que o adubo utilizado foi ureia, isso provavelmente reduziu a perda de N por

volatilização, permitindo uma maior quantidade de N disponível para os processos de nitrificação e desnitrificação.

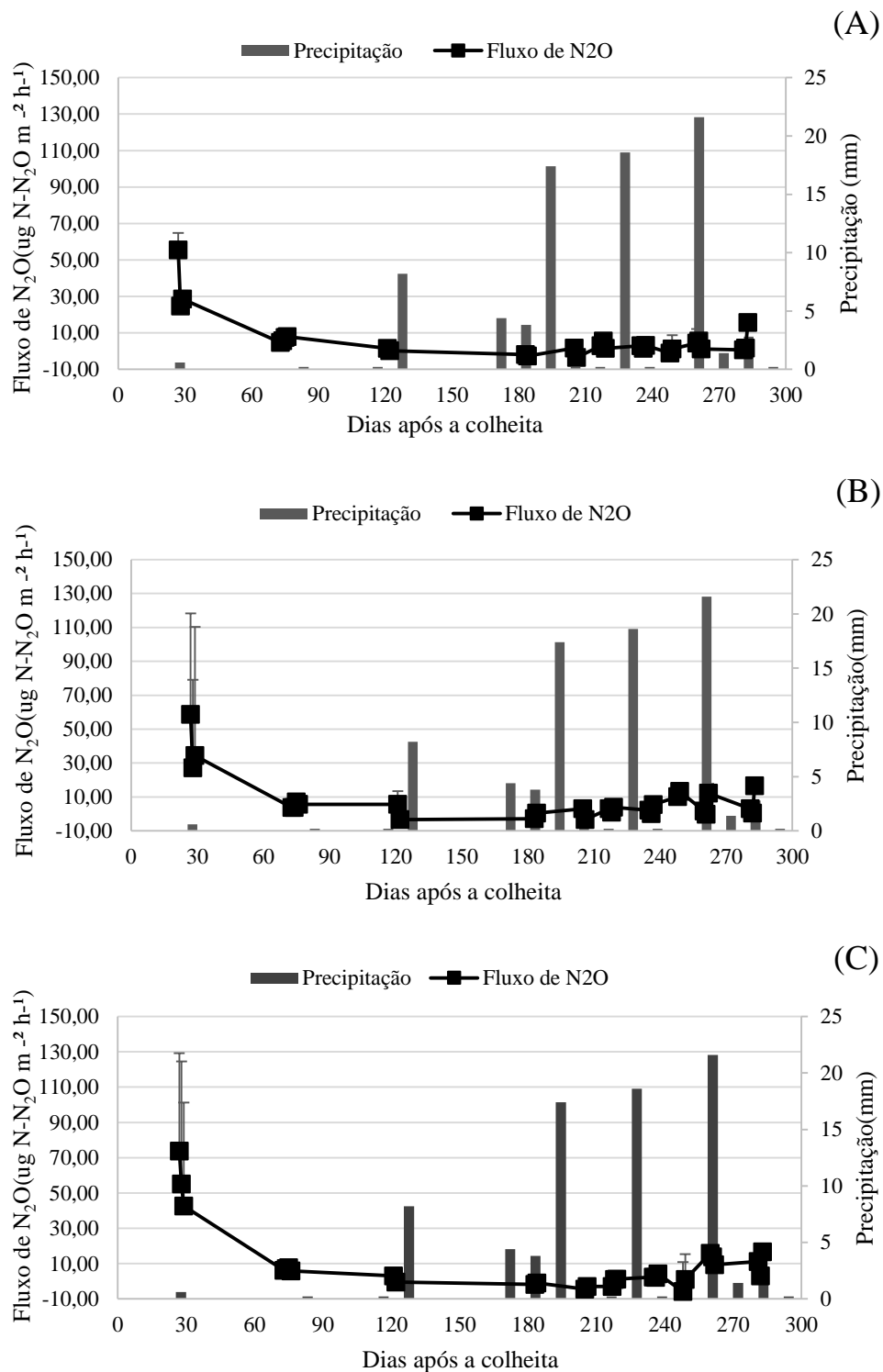


Figura 5. Fluxo de N_2O ($\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) em área de Cana-de-açúcar, em função de níveis de palhada sobre o solo (A- 0%, B- 50% e C- 100% da quantidade produzida na safra anterior, correspondendo à 0, 9,54 e 18,38 Mg ha^{-1} , respectivamente); Barras verticais correspondem ao erro padrão da média ($n=4$).

Embora tenham ocorrido precipitações de 8,2 a 21,6 mm a partir do 170º dia após a colheita, não foi possível observar um aumento nas emissões de N₂O em relação ao período anterior a esse dia (1º ao 169º dia após a colheita). Nesse período, as variações de umidade foram menores que aquelas do início do ciclo (gráficos no Apêndice). Nos três tratamentos, a partir do 120º dia após a colheita, observou-se valores de emissões diárias negativos (de -5,94 a -0,58 kg de N₂O m⁻²h⁻¹, indicando consumo de N₂O).

Rachwal (2013) afirma que a umidade no solo pode causar um aumento no consumo de N₂O e enfatiza que quando a precipitação não afeta de modo significativo as emissões de óxido nitroso, isto está relacionado possivelmente com o fato da chuva não ter sido capaz de aumentar significativamente a umidade natural do solo, ou mesmo a água da chuva ser rapidamente removida devido a rápida permeabilidade, levando-se em consideração a textura arenosa do solo, como é o caso do solo estudado neste experimento.

Em função desse resultado, que conferiu a ausência de efeito dos níveis de palhada sobre as emissões do óxido nitroso, não foi realizada uma análise de regressão para as emissões desse gás (Figura 6).

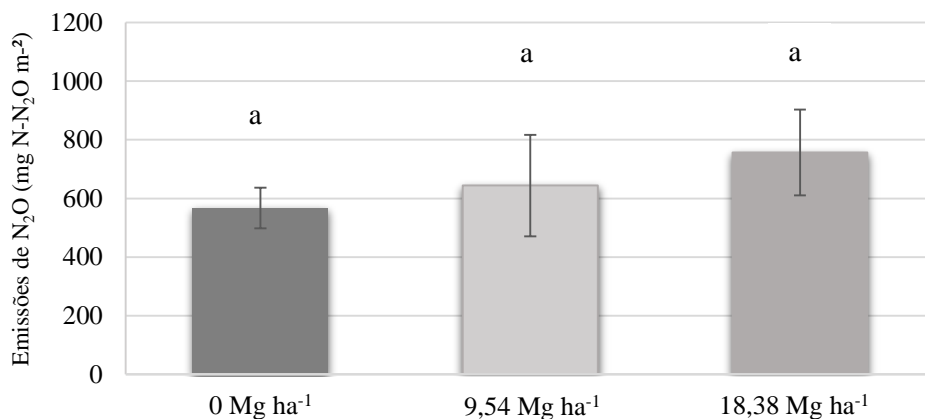


Figura 6. Emissão de N-N₂O em função dos níveis de palhada de cana-de-açúcar mantida sobre o solo (0% ,50% e 100% das quantidades originais presentes na área experimental); As letras indicam as diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre os grupos de médias para cada tratamento; as barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=4$).

A permanência da palhada de cana sobre a superfície do solo é um fator que pode contribuir para maiores emissões de N₂O do solo. Apesar de possuir uma relação C: N alta, a palhada de cana contribui com o carbono orgânico dissolvido, o qual possui estreita relação com as emissões de óxido nitroso (VARGAS et al., 2013; BEAUCHAMP et al., 1989).

As emissões de N-N₂O nos tratamentos com 0, 9,54 e 18,38 Mg ha⁻¹ de palhada no solo tiveram padrões semelhantes aos observados por Carmo et al, (2013) em Piracicaba, que em

solo com 0, 7, 14 e 21 Mg ha⁻¹ de palhada emitiram aproximadamente 300, 600, 700 e 750 mg de N-N₂O m⁻². Os autores atribuem essas emissões à aplicação de vinhaça ao solo, o que não ocorreu neste experimento. As emissões totais neste caso, podem estar relacionadas a umidade do solo associada a altas temperaturas e a adubação nitrogenada. A adição de resíduos vegetais à superfície do solo conserva a umidade, garantindo maior atividade microbiana. Dessa forma, há um aumento da atividade biológica na superfície do solo, consumindo o O₂ disponível, criando sítios de anaerobiose, onde ocorre produção de N₂O por desnitrificação bacteriana.

A magnitude das emissões de óxido nitroso do solo observada nesse ensaio, está dentro da escala estipulada por outros sistemas de manejo do Brasil. Tais valores variam entre 10 e 800 ug N-N₂O m⁻² h⁻¹ para tratamentos com manutenção de palhada e com aplicação de adubação nitrogenada (JANTÁLIA et al., 2006; CERRI et al., 2009; FRACETTO, 2013; CARMO et al., 2013; SIGNOR et al., 2014).

Levando-se em consideração que a presença de restos culturais sobre o solo, aliado ao pequeno número ou nenhuma intervenção de maquinário na área e reforma do canavial que ocorre a cada 5 a 8 anos, as áreas com cultivos de cana-de-açúcar sobre a palhada têm uma semelhança com áreas de plantio direto, segundo Signor et al. (2014). Nesse sentido, a deposição de palhada sobre o solo, após uma colheita sem queima pode estar associada ao aumento das emissões de N₂O à medida que se aumenta a quantidade de palhada, assim como acontece no plantio direto.

Emissões simuladas no DNDC

As aplicações do DNDC quanto às emissões de GEE em cultivos de cana-de-açúcar ainda são escassas na literatura (DENG et al., 2011; CHEN, et al., 2013; OLIVEIRA, 2014). Porém, de forma ampla, ele considera a umidade do solo um fator chave no fluxo de N₂O. Desse modo, a análise dos eventos pluviométricos conjuntamente com a dinâmica de gases, além do manejo do solo relacionado à adubação, aplicação de herbicida e eventos de irrigação são de suma importância para compreender os processos de emissão nesse ensaio.

Nas simulações realizadas no DNDC, observou-se que, para as cinco safras, as emissões diárias variaram de 0 a 0,7 kg N-N₂O. ha⁻¹, durante todo o ciclo da cultura.

Na safra 2009-2010, o DNDC apresentou, de modo geral, emissões que variaram de zero a 0,7 kg de N-N₂O.ha⁻¹ (Figura 7).

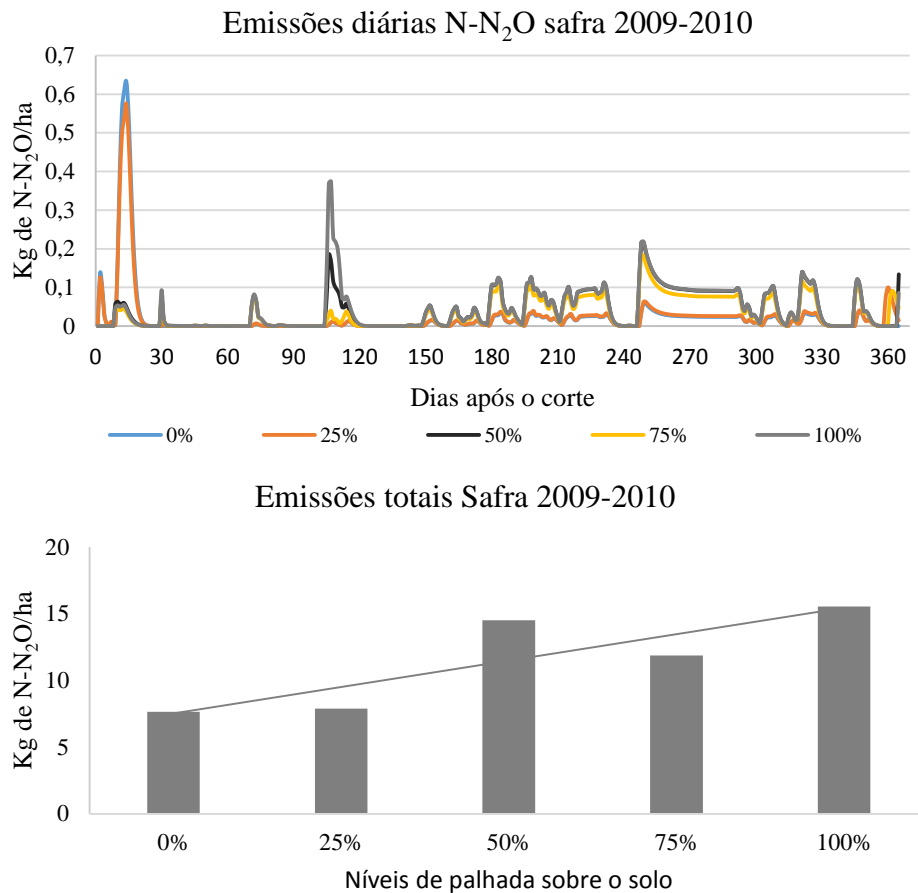


Figura 7. Emissões diárias e emissões totais de N-N₂O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2009/2010.

Sabendo-se que o modelo considera modificações nas emissões logo após qualquer manejo na área agrícola, observa-se, dentro do ciclo, as maiores emissões logo após o início do mesmo. Isso pode estar relacionado com a questão de que nessa safra foi implantado o experimento, sendo necessário um novo preparo de solo, adubação, dentre outros manejos para adequação ao ensaio o que motivou as maiores emissões nos primeiros meses da safra. Destaca-se ainda que os tratamentos com 0% e 25% de palhada sobre o solo apresentaram maiores emissões apenas nos primeiros trinta dias do ciclo, havendo decréscimo do 190° ao 300° dia do ciclo, em relação aos tratamentos 50%, 75% e 100%. Esses tratamentos também apresentaram maiores emissões totais, em relação aos tratamentos com menores proporções de palhada.

Na safra 2010-2011, observou-se aumento nas emissões de óxido nitroso a partir de 100º dia após o corte da primeira safra (Figura 8). Após esse dia, houve oscilações nas emissões diárias que variaram entre 0,0 e 0,4 kg N-N₂O. ha⁻¹, sendo as altas emissões no período atreladas provavelmente ao aumento da umidade do solo.

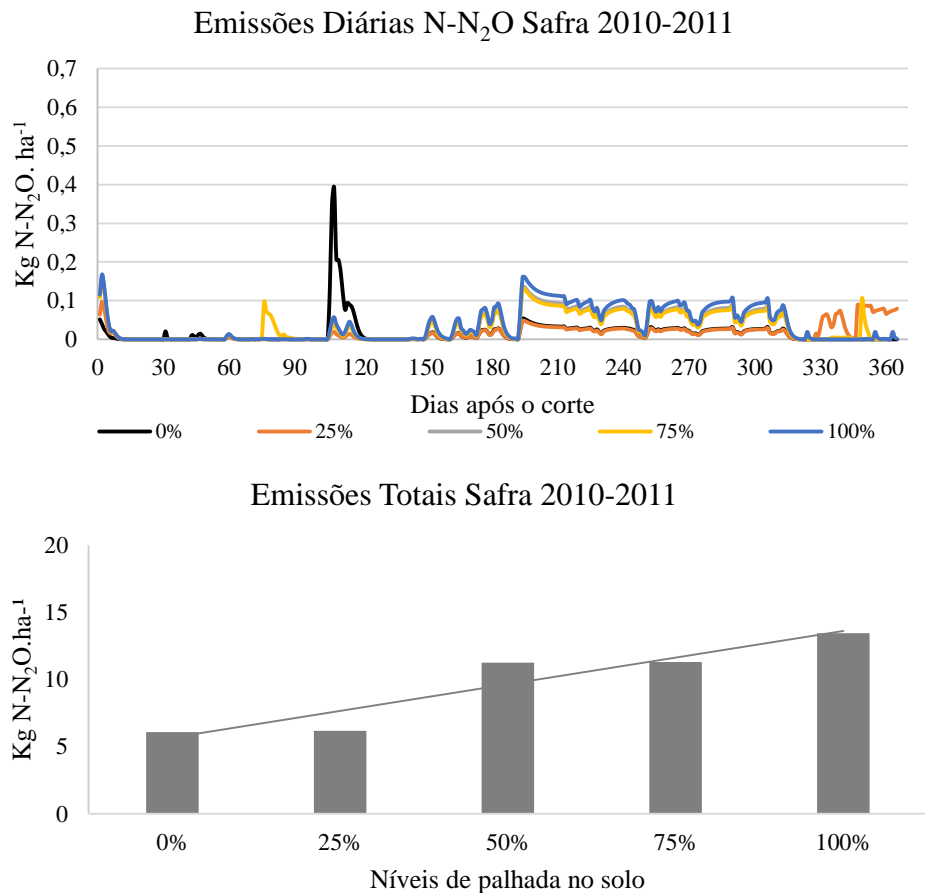


Figura 8. Emissões diárias e emissões totais de N- N₂O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2010/2011.

Oliveira (2014) observou na simulação de emissões de N₂O nos campos de cana em São Paulo, no 100º dia após a colheita da safra anterior, valores que variaram de 0 a 0,01 kg N-N₂O. ha⁻¹, emissões menores que as registradas na simulação deste trabalho, por se tratarem de solos sem cobertura de palhada.

Quanto às emissões totais, o DNDC apresentou um crescimento nas emissões conforme se aumenta a proporção de palhada no solo. Os tratamentos 0% e 25% apresentaram na simulação, as menores emissões de óxido nitroso.

Prado (2013), simulando o fluxo de N₂O em cultivo de cana-de-açúcar sobre palhada em Piracicaba-SP, na safra 2010-2011, reportou valores de fluxo diário que variaram de zero a

0,4 kg kg N-N₂O ha⁻¹, sendo os valores maiores dos picos, atribuídos aos tratamentos que utilizaram 21 Mg ha⁻¹ de palhada remanescente.

As emissões simuladas no modelo para a safra 2011-2012 (Figura 9), de modo geral, foram menores em relação as safras anteriores.

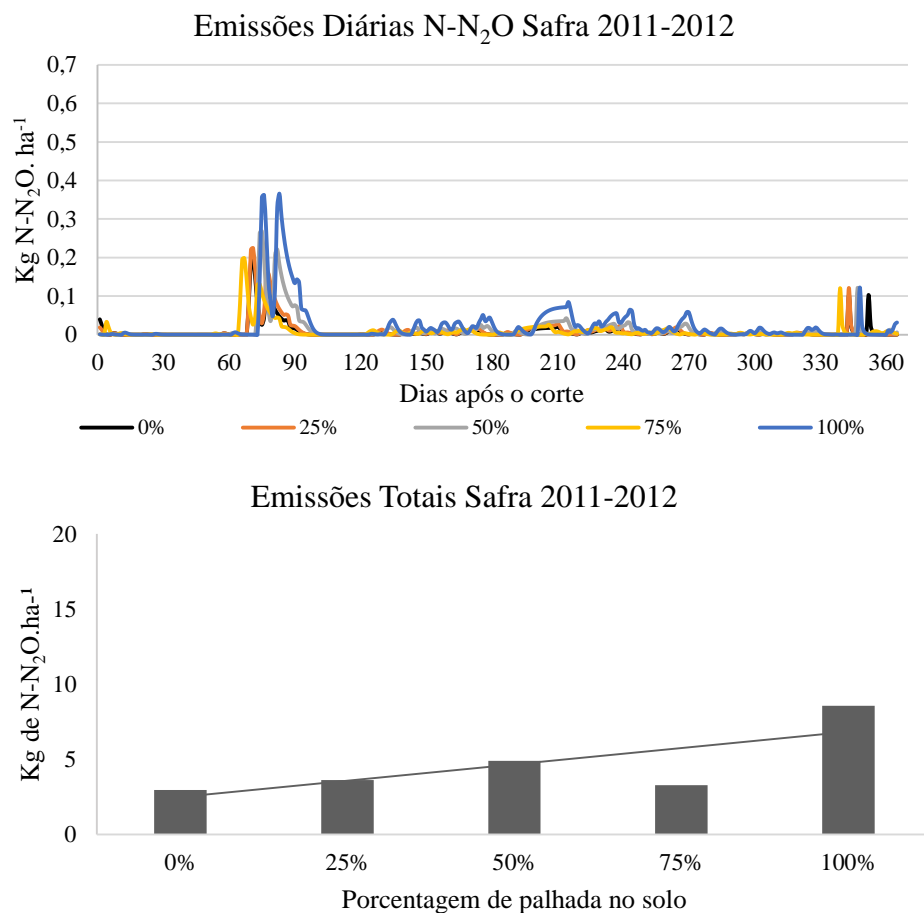


Figura 9. Emissões diárias e emissões totais de N-N₂O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2011/2012.

Observou-se que as emissões diárias nesta safra, para todos os tratamentos apresentaram picos reduzidos, em comparação às safras anteriores, variando de 0,0 a 0,37 kg N-N₂O. ha⁻¹ e as emissões totais variando de 3,0 a 8,5 kg N-N₂O ha⁻¹, sendo o tratamento com proporção 100% de palhada aquele com maior emissão total. A explicação para essa redução nas emissões simuladas está atrelada à reduzida precipitação ao longo da safra (Figura 4), somando 873 mm. Hernandez-Ramirez et al. (2009) também observaram resultados semelhantes ao relatarem que no ano com menor precipitação os picos foram mais estreitos e menos alongados, o que os autores atribuem à menor disponibilidade de água no solo.

As simulações para as emissões diárias e emissões totais da safra 2012-2013 (Figura 10), indicam um comportamento semelhante das emissões ao longo do ciclo para todos os tratamentos, onde as emissões variaram de 0,0001 kg N-N₂O ha⁻¹ a 0,3 kg N-N₂O. ha⁻¹.

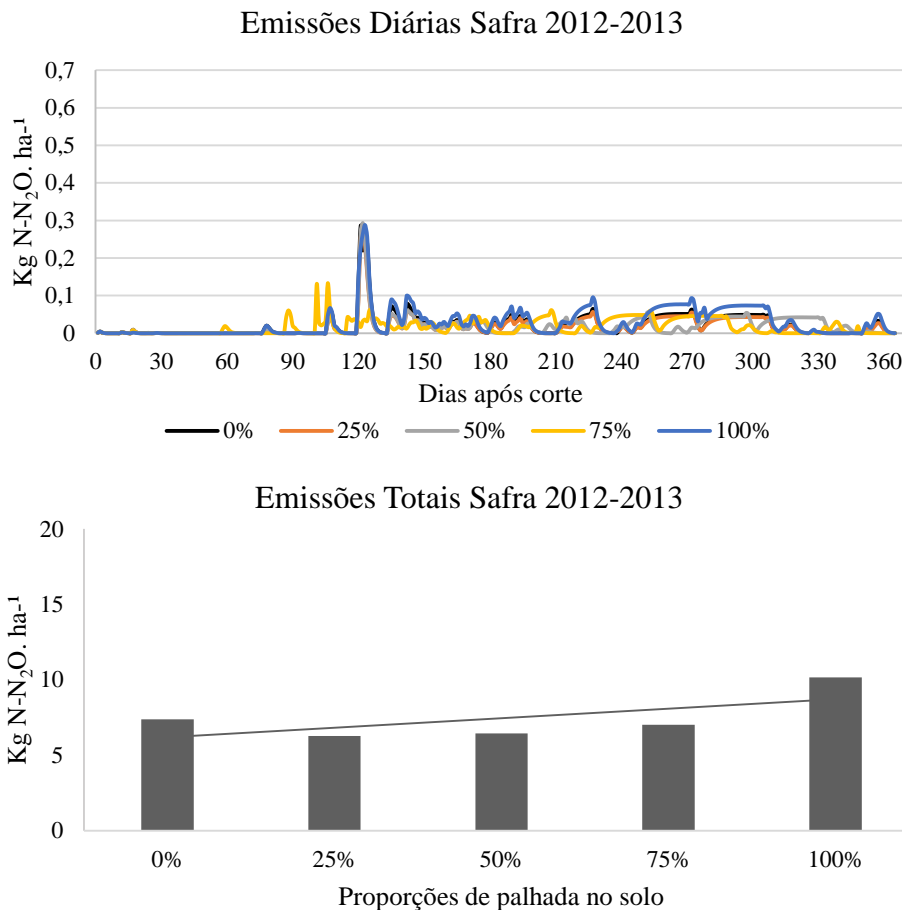


Figura 10. Emissões diárias e emissões totais de N-N₂O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2012/2013.

Do 125º dia após o corte até o final do ciclo, observa-se uma redução nas emissões diárias em todos os tratamentos, apresentando diferença máxima entre as emissões do tratamento 0% e do tratamento 25% de 35 a 40%. Quanto às emissões totais, pode-se observar que as emissões do tratamento 100% ultrapassam os 10 kg N-N₂O ha⁻¹, sendo 62% maior que o tratamento com 25% de palhada, que apresentou menor emissão total.

As simulações de emissões diárias e totais de N₂O simuladas pelo DNDC, considerando a safra 2013-2014, mostraram um comportamento semelhante das emissões para todos os tratamentos (Figura 11).

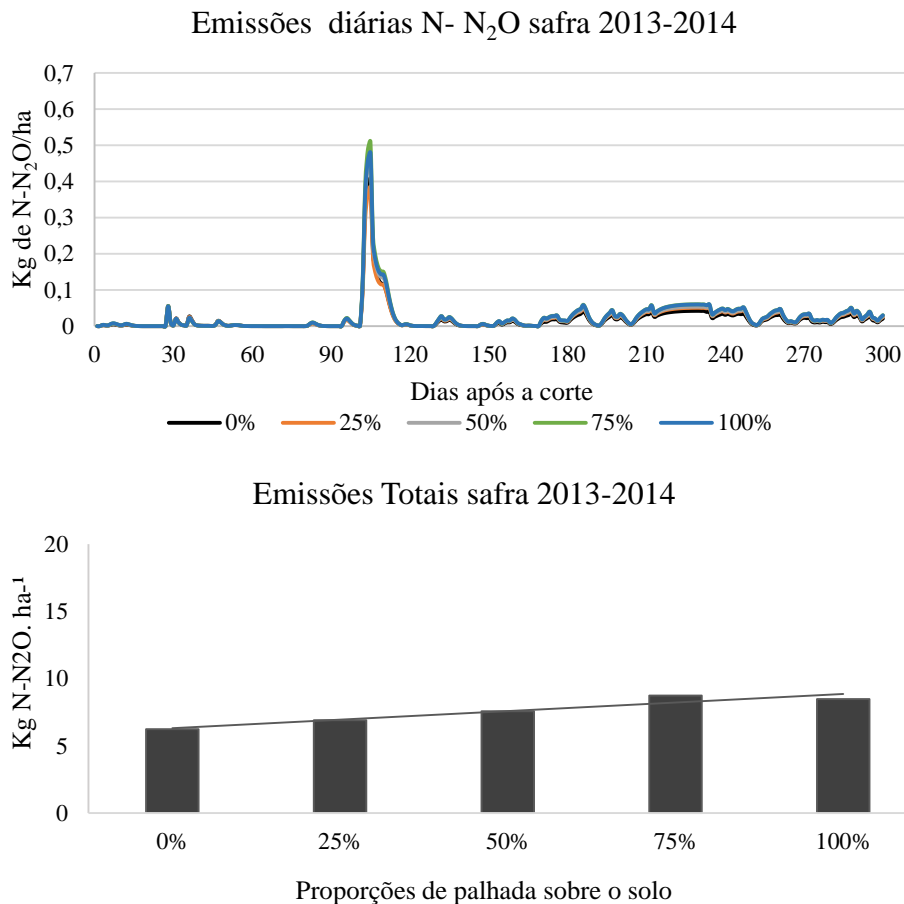


Figura 11. Emissões diárias e emissões totais de N-N₂O simuladas no DNDC durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2013/2014.

A partir dessas simulações diárias, pode-se observar que em alguns dias durante o ciclo da cultura, os tratamentos 100% e 75% superaram os demais tratamentos, com picos de emissões chegando aos 0,5 kg N-N₂O ha⁻¹, confirmando o proposto por Carmo et al. (2013) ao afirmarem que à medida em que se aumenta a quantidade de palhada na superfície do solo, aumenta-se também as emissões de óxido nitroso.

Comparando-se todas as safras, foi possível observar um padrão nas emissões em torno dos 100 dias após o corte. Esse aumento nas emissões simuladas foi semelhante pois nesse período há realização de irrigação. Por ser o período considerado mais quente do ano, são aplicadas lâminas de irrigação de 35 a 50 mm, prática denominada irrigação de salvação, comum nos cultivos de cana-de-açúcar.

Schenato (2013), ao simular o fluxo de GEE em sistemas de manejo do solo no sul do Brasil, no modelo DAYCENT, também observou variação nos picos de emissões de N₂O durante toda a safra estudada, influenciadas principalmente pelo manejo do solo e pelas precipitações.

Comparação entre as emissões no campo e emissões simuladas no DNDC

A comparação entre os valores totais das emissões obtidos no experimento em campo para os tratamentos 0%, 50% e 100% e os valores simulados no DNDC para os mesmos, na safra 2013-2014, indicam uma diferença de aproximadamente 9%, 18% e 13% respectivamente, entre eles (Figura 12). Assim, esses valores médios estão dentro da margem de erro de 52% do II Inventário Brasileiro de Emissões de N_2O de solos agrícolas (BRASIL, 2004; BRASIL, 2010).

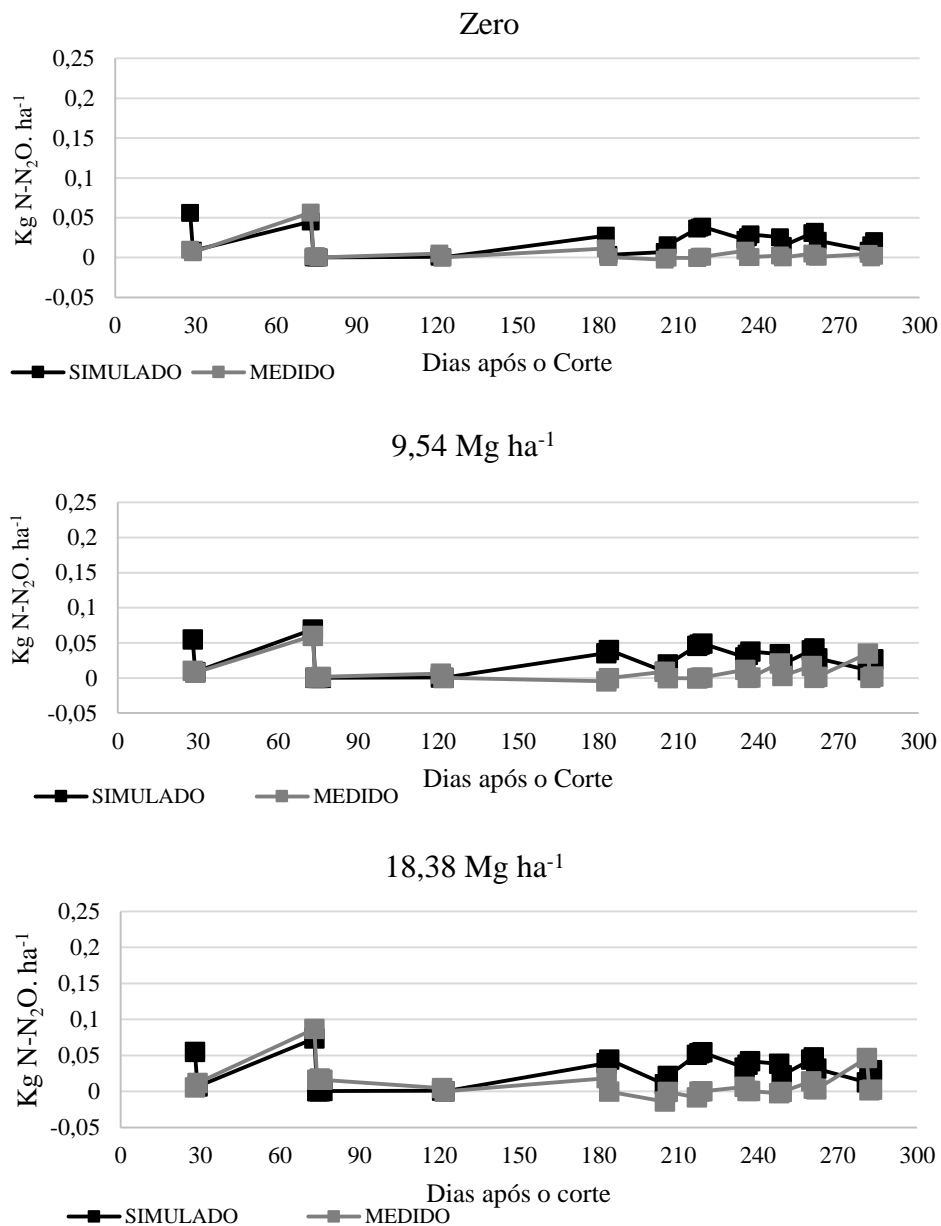


Figura 12. Emissões diárias de $N-N_2O$ simuladas no DNDC e observadas em campo durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2013/2014 de acordo com a proporção de palhada no solo (0%, 50% e 100%).

Simulações semelhantes, utilizando modelos computacionais, feitas com a cultura da cana-de-açúcar e culturas de cobertura apresentaram diferenças entre emissões simuladas e de campo entre 20% e 46% (OLIVEIRA, 2014; SCHENATO, 2013).

As curvas de emissões simuladas diariamente, nos três tratamentos avaliados, apresentaram comportamentos diferentes das curvas de emissões medidas, apresentando nos primeiros 180 dias do ciclo diferença média de 40 a 200% entre valores, onde as emissões simuladas subestimam as emissões observadas. A partir do 180º após o corte até o final do ciclo, essa diferença foi reduzida para 12 a 36% em média. Esse comportamento das emissões simuladas não acompanhando as emissões observadas foi reportado por Schenato (2013), ao simular, em modelos computacionais, emissões de GEE's em sistemas de manejo.

Oliveira (2014), comparando as emissões do óxido nitroso simulados pelo DNDC e emissões observadas no campo, constatou que a partir do 60º dia após o início das medições as emissões simuladas e as de campo se aproximaram e permaneceram com esse comportamento até o fim das avaliações, situação parecida com a ocorrida neste trabalho. O autor explica que as maiores emissões concentram-se nos primeiros 60 dias do ciclo, devido principalmente à adubação, havendo uma diminuição após esse período, situação que pode ser atribuída para este resultado.

Durante o período do experimento em campo, o valor acumulado das emissões medidas foi de 5,67 kg N-N₂O.ha⁻¹(0%), 6,44 kg N-N₂O, ha⁻¹ (50%) e 7,5 kg N-N₂O, ha⁻¹ (100%), correspondendo respectivamente a 8,90 kg N₂O, ha⁻¹, 10,11 kg N₂O, ha⁻¹ e 11,78 kg N₂O, ha⁻¹.

Os valores resultantes da simulação no DNDC para os mesmos tratamentos indicaram emissões acumuladas de 6,23 kg N-N₂O.ha⁻¹(0%), 7,58 kg N-N₂O, ha⁻¹ (50%) e 8,48 kg N-N₂O, ha⁻¹ (100%), correspondendo respectivamente a 7,78 kg N₂O, ha⁻¹, 11,90 kg N₂O, ha⁻¹ e 13,32 kg N₂O, ha⁻¹.

As emissões acumuladas simuladas e as emissões acumuladas de campo foram comparadas, apresentando resultados mais semelhantes em alguns períodos do ciclo. No entanto, o total de emissões até os primeiros 120 dias no tratamento 0% apresentam valores bem diferentes entre a simulação (0,44 kg N-N₂O.ha⁻¹) e a medição em campo (1,04 kg N-N₂O.ha⁻¹). Essa diferença entre valores é mantida até os 260 dias após o corte, onde as emissões começam a apresentar valores mais próximos (Figura 13-A).

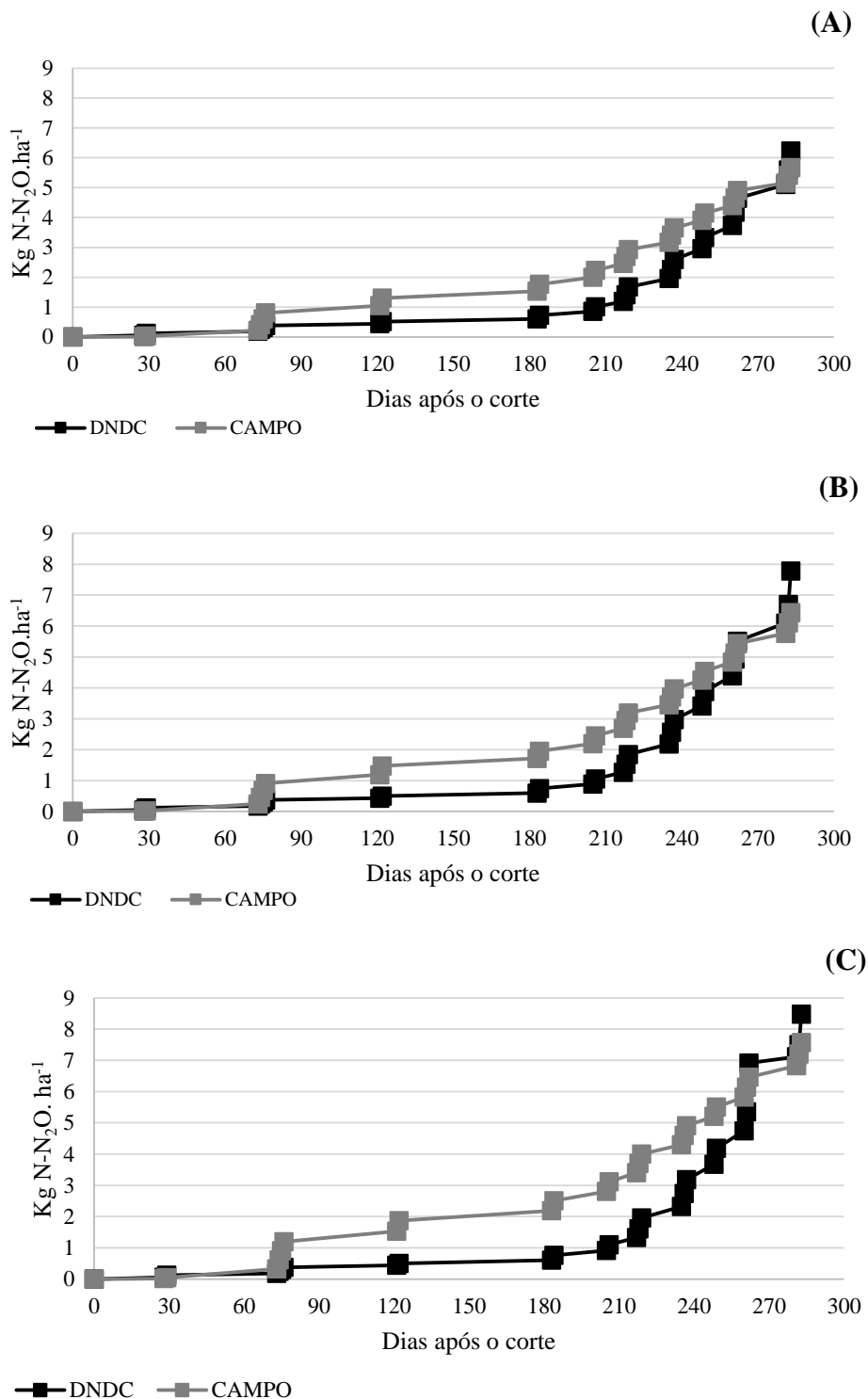


Figura 13. Emissões acumuladas N-N₂O simuladas no DNDC e observadas em campo durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2013/2014. A- 0% de palhada, B- 50% de palhada (9,54 Mg. ha⁻¹) e C-100% de palhada (18,38 Mg. ha⁻¹)

No tratamento 50%, até os 73 primeiros dias do ciclo, as emissões acumuladas apresentaram proximidade entre os valores da simulação (0,18 kg N-N₂O.ha⁻¹) e os valores observados em campo (0,24 kg N-N₂O.ha⁻¹). Dos 74 até os 250 dias após o corte os valores de

medições do campo se apresentam maiores que os valores simulados e a partir do 260º dia os valores simulados passam a ser maiores que os valores de campo (Figura 13-B). Isso ocorre por que as emissões medidas reduzem, conseqüentemente reduzindo as emissões acumuladas, o que não ocorre com as emissões simuladas.

O tratamento 100% apresentou valores aproximados entre as emissões simuladas e observadas até os 70 dias após o corte, assim como Oliveira (2014) observou nas emissões simuladas no DNDC e observadas em campo. Desse período até os 260 dias após o corte, as emissões observadas apresentam valores superiores aos simulados no DNDC. A partir dos 263 dias após o corte, as emissões acumuladas simuladas ($6,91 \text{ kg N-N}_2\text{O.ha}^{-1}$) passam a apresentar valores maiores que os observados em campo ($6,46 \text{ kg N-N}_2\text{O.ha}^{-1}$). As emissões acumuladas observadas em campo, sendo um somatório dos fluxos diários, foram influenciadas pelos valores negativos, tornando-as menores que as emissões simuladas ao final do ciclo (Figura 13-C).

Observa-se ainda que nos três tratamentos os valores observados apresentaram-se maiores que os valores simulados, em quase todo o ciclo, sendo esses valores com acúmulo reduzidos ao final do ciclo em comparação às emissões simuladas, que ao final foram superiores, tornando as emissões totais simuladas maiores que as emissões totais observadas.

Esses resultados, opõem-se aos encontrados por Oliveira (2014), que ao simular emissões no DNDC, encontrou emissões totais menores que os observados em campos de cana-de-açúcar na Austrália.

Tabela 4. Índices estatísticos de comparação entre emissões de N-N₂O simuladas e medidas em campo na safra de cana-de-açúcar 2013-2014.

	Fluxos diários			Fluxos Acumulados		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%
d_r	0,6981	0,674	0,6966	0,910	0,7995	0,8308
EAM(kg.ha⁻¹)	0,0094	0,0079	0,025	0,016	0,015	0,0218
RMSE (kg.ha⁻¹)	0,0427	0,1479	0,2054	0,138	0,219	0,284
CD	0,7783	0,8567	0,7853	0,721	0,7532	0,7561
CRM	-0,946	-0,861	-0,886	-0,074	-0,139	-0,057
Eficiência	0,9152	0,9117	0,9099	0,7881	0,9234	0,9053

* d_r é o índice revisado de concordância de Willmott, EAM corresponde ao erro médio absoluto, RMSE raiz quadrada do erro médio, CD coeficiente de determinação e CRM coeficiente de massa residual.

Os valores para o índice de concordância de Willmott, para os tratamentos avaliados, indicam que as emissões simuladas pelo DNDC possuem uma boa concordância de valores com

as emissões observadas. Os valores para o erro absoluto médio se aproximam de zero, indicando os resultados modelados mais próximos da precisão.

O coeficiente de determinação indicou para os fluxos diários e acumulados, houve uma medida de proporção total da variação dos resultados explicada pelos dados simulados de forma adequada. Os valores encontrados para coeficiente de massa residual indicam que em todos os tratamentos, tanto para fluxos diários assim como para fluxos acumulados, embora durante todo o ciclo as emissões tenham sido subestimadas, nas emissões totais o DNDC superestimou os valores em relação às emissões observadas. Para a eficiência, os valores constatam que houve um bom ajuste entre os valores simulados e os valores medidos.

As emissões simuladas apresentaram variação nos resultados, devido às condições climáticas abrangidas. Dessa forma, tais resultados, apoiados por dados obtidos na literatura, dão uma sugestão de que a correta estimativa de emissões de GEE por modelos computacionais é consideravelmente complexa, porém apresenta a possibilidade de mostrar dados consistentes.

4. CONCLUSÕES

As emissões de óxido nitroso do solo não são afetadas pela proporção de palhada remanescente colocada sobre ele, após colheita sem queima.

Os fluxos de óxido nitroso nas simulações do DNDC são influenciados pela adubação, precipitação e irrigação e foram maiores nos tratamentos com maior proporção de palhada de cana-de-açúcar no solo, ou seja 50% e 100% de palhada no solo.

A comparação entre emissões de N₂O simuladas e as medidas em campo no ensaio experimental mostrou concordância entre valores.

As simulações das emissões de N₂O DNDC estão dentro da margem de erro sugerida pelo inventário Brasileiro de Emissões de N₂O de solos agrícolas, o que permite utilizá-lo para estimativas em outros cultivos de cana-de-açúcar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, R. R. L. de. **Dinâmica de carbono e fauna do solo sob diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar (*Sacharum ssp.*)**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI, 92 p. 2013.

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R.D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology & Biochemistry**, New York, v. 46, p. 129-135, 2012

ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; PRANCHINI, J.; SANTOS, H. P. dos; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas**. Seropédica: Embrapa, 2010. 6 p. (Comunicado Técnico 126).

BARTON, L.; KIESE, R.; GATTER, D.; BUTTERBACK-BAHL, K.; BUCK, R.; HINZ, C. e MURPHY, D. V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. **Global Change Biology**. 14, 177-192, 2008.

BEAUCHAMP, E. G.; TREVORS, J.T.; PAUL, J.W. Carbon sources for bacterial denitrification. **Advances in Soil Science**, v.10, p.113-142, 1989.

BRASIL. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controladas pelo protocolo de Montreal**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília: 162 p. 2004.

BRASIL. **Relatório de referência: Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. 65p.

CARMO, J. B. S.; FILOSO, L. C.; ZOTARELLI, E.; SOUSA NETO, L. M.; PITOMBO, P. J.; DUARTE NETO, V. P.; VARGAS, C. A.; ANDRADE, G. J. C.; CAVA, R.; ROSSETO, H.; CANTARELA, A.; ELIAS NETO, A.; MARTINELLI, L. A. In-field greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. **Global Change Biology Bioenergy** v. 5, p. 267-280, 2013.

CERRI, C.E.P.; GALDOS, M.V.; CARVALHO, J.L.N.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the sugarcane agrosystem: point of view. **Scientia Agricola**, v.70, p.361-368, 2013.

CERRI, C. C. MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock, **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.66, n. 6, p.831-843, 2009.

CHEN, C.; CHEN, D.; DAN, J.; LAM, S. K. Application of the Denitrification – Decomposition Model to predict carbon dioxide emissions under alternative straw retention methods. **The scientific world journal**, 2013.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Quarto Levantamento**. Brasília, 2014. Disponível em <http://www.conab.gov.br> >acesso em 04/09/2014.

COPERSUCAR. **Censo varietal quantitativo**, Centro de Tecnologia da COPERSUCAR Piracicaba, SP, 1995.

CUNHA, J. R. da. **Manejo da palhada de cana-de-açúcar (*Sacharum ssp.*) e seus efeitos sobre a dinâmica da matéria orgânica e dos atributos biológicos de um Plintossolo no norte do Piauí**. Dissertação (Mestrado em manejo de solo e água) – Universidade Federal da Paraíba, PI, 83 p. 2012.

DENG, J.; ZHU, B.; ZHOW, Z.; ZHENG, X.; LI, C.; WANG, T.; TANG, J. Modeling nitrogen loadings from agricultural soil in southwest China with modified DNDC. **Journal of Geophysival Research**. v.116, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p

FIGUEIREDO, E. LA SCALA, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 141, n. 1, p. 77-85, Apr 2011.

FRACETTO, F. J. C. **Emissão de óxido nitroso (N₂O) e abundância da comunidade de bactérias desnitrificantes no agrossistema cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

GILTRAP, D. L.; LI, C.; SAGGAR, S. DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 3, p. 292-300, 2010.

HERNANDEZ-RAMIREZ, G.; BROUDER, S. M.; SMITH, D. R.; VAN SCOYOC, G. E. Greenhouse gas fluxes in an eastern Corn Belt soil: weather, nitrogen source, and rotation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 38, n. 3, p. 841–54, 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers. Geneva, Switzerland, 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm Acesso em: 26 ago. 2013.

JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODEY, R.M.; URQUIAGA, S. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo de solo. In: ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S., AITA, C.; BODEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O.(Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa**. Porto Alegre: Embrapa Agrobiologia, 2006. p.35-57.

JOPP, F.; BRECKLING, B.; REUTER, H. **Modeling complex ecological dynamics**. Heidelberg: springuer, 2010.389p.

LEAL, M.R.L.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, F.V.; SEABRA, J.E.A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C.O.F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, v.53, p.11-19, 2013.

LI, C. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. **Nutrient cycling in agrosystems**. Dordrecht. V. 58: 259-276, 2000.

LI, C, FROLKING S.; FROLKING T. A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. model structure and sensitivity. **J. Geophys Res.** 97: 9759-9776. 1992.

LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 7, p. 51-73, 1991.

OLIVEIRA, M. E. D. de. **Estimativas de Emissões de N₂O e CH₄ na cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. Piracicaba- SP (Tese de Doutorado), 2014.

PRADO, P. F. **Calibração e validação operacional do acoplamento de softwares: Knearest, Rosetta e APSIM para estimar fluxos de N₂O em plantações de cana-de-açúcar no Brasil**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, *Campus Sorocaba*, 2013

RACHID, C.T.C.C; PICOLO, M.C.; LEITE, D.C.A.; BALIERO, F.C.; COUTINHO, H.L.; ELSAS, J.A.; PEIXOTO, R.S.; ROSADO, A.S. Physical-chemical and microbiological changes in cerrado soil under differing sugarcane harvest management systems. **BMC microbiology**. 12:170,2012.

RACHWAL, M.F.G. **Gases de efeito estufa em organossolo natural e drenado – Paraná**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2013.

ROSSETO, R.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; MELLIS, E. V.; VARGAS, V. P.; CANTARELA, H.; PRADO, H. do; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A.; BRANCALÃO, S. R.; GARCIA, J. C. Cana-de-açúcar: cultivo com sustentabilidade. **Informações Agrônomicas**. Nº 142, p. 1-13, 2013.

SCHENATO, R.B. **Simulação de fluxos de gases de efeito estufa em sistemas de manejo do solo no sul do Brasil**. Tese (Doutorado em ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

SCHILS, R. L. M.; GROENIGEN, J. W. V.; VELTHOF, G. L.; KUIKMAN, P. J. Nitrous oxide emissions from multiple combined applications of fertilizer and cattle slurry to grassland. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 310, n. 1-2, p. 89-101, 2008.

SENTELHAS, P.C.; MORAES, S.O.; PIEDADE, S.M.S.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Rev. Bras. Agromet.**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.

SIGNOR, D.; CERRI, C.E.P.; CONANT, R.T. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. **Environmental Research Letter**, v.8 n.1, 2013. 9p.

SIGNOR, D.; PISSIONI, L. L. M.; CERRI, C. E. P. Emissões de gases de efeito estufa pela deposição de palhada de cana-de-açúcar sobre o solo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p.113-122, 2014.

SILVA, A. G. **Atributos químicos e frações húmicas e granulométricas da matéria orgânica do solo sob diferentes níveis de palhada de cana-de-açúcar (*sacharum ssp.*)**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí- PI, 82 p. 2014.

SORDI, R. A.; MANECHINI, C. Utilization of trash: a view from the agronomic and industrial perspective. **Scientia Agricola**, v.70, p.1-2, 2013.

VARGAS, V.P.; MARTINS, A.R.; CANTARELLA, H. Dicianodiamida (DCD) diminui emissão de N₂O de solo incubado com diferentes níveis de palhada de cana-de-açúcar e N mineral. In: Fertibio 2012, Maceió, AL. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS, 2012. CD-ROM.

ZOTELLI, L. **Palhada e vinhaça:** Emissões de CO₂, N₂O e CH₄ em solo com cana-de-açúcar. 2012. 78p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2012.

WILLMOTT, C. T.; ACKLESON, S. G.; DAVIS R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the Evaluation and Comparison of Models. **J. geoph. research**, vol. 90, n. 5, pag. 8995-9005, 1985.

CAPITULO 02

ATIVIDADE MICROBIANA DE UM PLINTOSSOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇUCAR SOB NÍVEIS DE PALHADA

RESUMO

PORTELA, Mirya Grazielle Torres. **Atributos microbiológicos de um Plintossolo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada.** 2015. 23 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Produção vegetal) – Universidades Federal do Piauí, PI

O sistema de colheita de cana crua foi desenvolvido para reduzir os efeitos negativos da queima no ambiente, especialmente no solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a atividade microbiana do solo, em área cultivada com cana-de-açúcar, colhida sem a queima, com a deposição de diferentes níveis da palhada na superfície do solo. O experimento foi instalado na Usina Comvap, no município de União/PI em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos correspondentes aos níveis de palhada (T1: 0 Mg.ha⁻¹; T2: 4,19 Mg.ha⁻¹; T3: 9,54 Mg.ha⁻¹; T4: 13,04 Mg.ha⁻¹; T5: 18,38 Mg.ha⁻¹). Foram coletadas amostras de solo para a determinação dos teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), teores de carbono da biomassa microbiana (Cmic), Nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), respiração basal (RB), Densidade do solo, estoques de C e N e quocientes metabólico e microbiano, na profundidade de 0-10 cm. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, e submetidos a uma análise estatística multivariada pela análise de agrupamento e análise de componentes principais. Observou-se que o aumento dos níveis de palhada no solo provocou diferenças ($p < 0,01$) nos teores e estoques de carbono orgânico total, nos teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, relação C:N e quocientes microbiano e metabólico. A análise de agrupamento dividiu os tratamentos em três grupos distintos, nos quais o tratamento com 0 Mg.ha⁻¹ agrupou-se com o tratamento com 4,19 Mg.ha⁻¹ palhada, o tratamento com 9,54 Mg.ha⁻¹ de palhada ficou isolado dos demais grupos, sendo na análise de componentes principais fortemente correlacionado apenas ao quociente microbiano e o grupo formado pelos tratamentos com 13,04 e 18,38 Mg.ha⁻¹ de palhada no solo correlacionado com a maioria dos atributos do solo avaliados e a produtividade, atribuindo-se a melhoria da qualidade do solo e da produtividade a esses tratamentos.

Palavras chaves: Fitomassa; matéria orgânica, microrganismos; multivariada.

ABSTRACT

PORTELA, Mirya Grazielle Torres. **Microbiological attributes in Plinthosol cultivated with sugarcane under different levels of straw**. 2015. 23 p. Dissertation (MSc in Agronomy) - Federal University of Piauí, PI.

The green cane harvesting system was developed to reduce the negative effects of the environment burning, especially on the ground. The objective was to evaluate the microbial activity in the soil in an area cultivated with sugarcane, harvested without burning, with the deposition of different levels of the straw on the soil surface. The experiment was installed in the plant Comvap in the town of União -PI in a randomized block design with four replications, and the treatments corresponding to the straw levels (T1: 0 Mg.ha⁻¹; T2: 4,19 Mg.ha⁻¹; T3: 9,54 Mg.ha⁻¹; T4: 13,04 Mg.ha⁻¹; T5: 18,38 Mg.ha⁻¹). The soil samples were collected to determine the content and stock total organic carbon (COT) and total nitrogen (NT) and the content carbon of microbial biomass (Cmic) and nitrogen of microbial biomass (Nmic) beyond the basal respiration (RB) and metabolic and microbial quotients at a depth of 0-10 cm. Data were subjected to analysis of variance and means were compared by Tukey test, and submitted to a multivariate analysis by cluster analysis and principal component analysis. It was observed that the increase in straw levels in the soil caused differences ($p < 0.01$) in the content and stock total organic carbon, in the carbon and nitrogen of the microbial biomass contents, soil respiration, C: N ratio and quotients microbial and metabolic. Cluster analysis divided the treatments into three groups, in which treatment with 0 Mg.ha⁻¹ was grouped with treatment with 4,19 Mg.ha⁻¹, treatment with 9,54 Mg.ha⁻¹ straw was isolated from the other groups, with the principal component analysis strongly correlated only to microbial quotient and the group formed by the addition of 13, 04 and 18,38 Mg.ha⁻¹ of straw on the ground correlated with most of the attributes of reviews and soil productivity, attributing the improvement of soil quality and productivity to these treatments.

Key words: Biomass; organic matter, microorganisms; multivariate.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar tem desempenhado importante papel na economia brasileira e está se expandindo principalmente na produção de etanol. Devido a esse crescimento acelerado do setor sucroalcooleiro e a grande preocupação com os impactos oriundos de práticas de cultivo e manejo dos solos para uso agrícola, diferentes estudos estão sendo realizados com relação aos sistemas de produção da cana-de-açúcar, destacando-se dentre outras alternativas sustentáveis, a utilização da palhada como cobertura de solo (PANOSSO et al., 2009; SILVA-OLAYA et al., 2013; MOITINHO et al., 2013).

Em sistemas de plantio onde os resíduos da cultura são depositados no solo há um aumento significativo nos teores de nitrogênio (N) e carbono (C) nas camadas superficiais, onde o carbono pode ficar acumulado no solo, em média, até cinco vezes mais, quando comparados aos sistemas convencionais (CANELLAS et al., 2010; DENDOOVEN et al., 2012). Além disso, muitos relatos comprovam os efeitos positivos da ausência de queima na palhada, especialmente os relacionados à fertilidade, agregação, estruturação, atividade biológica e diversidade microbiana do solo (CARVALHO et al., 2010; RACHID et al., 2012), contribuindo para a melhoria da sua qualidade, e, conseqüentemente, aumentando o potencial produtivo da cultura (TAVARES et al., 2010).

A adoção de manejos conservacionistas causa mudanças no uso do solo que podem influenciar significativamente a estrutura e atividade das comunidades microbianas, o que, por sua vez, está relacionada com os processos biogeoquímicos do solo e produtividade do ecossistema. Dessa forma, são fundamentais a compreensão dessa questão e sua relação com as mudanças no uso e manejo do solo (ABOIM et al., 2008; JESUS et al., 2009; RACHID et al., 2013).

Nesse contexto, o sistema de manejo de cana crua tem sido apontado como medida mitigadora do efeito estufa, proporcionando considerável cobertura de resíduo vegetal (palhada), contribuindo para a melhoria da sua qualidade, e, conseqüentemente, aumentando o potencial produtivo da cultura (TAVARES et al., 2010).

Diversos atributos têm sido empregados para a qualificação de sistemas de manejo. Para o monitoramento da qualidade edáfica, existem indicadores mais sensíveis ao seu uso e manejo, como teores de carbono e atividade microbiana, os quais fornecem informações sobre alterações em decorrência de sua exploração agrícola, sendo utilizados como indicadores ecológicos capazes de apresentar níveis de atividade das populações microbianas, estimar o potencial de decomposição de resíduos vegetais e avaliar os efeitos ambientais e antropogênicos nas

comunidades microbiológicas do solo (DORAN e PARKIN, 1996; NEVES, et al., 2009; ALVES, et al., 2011).

Segundo Vasconcelos et al. (2010) e Barros et al. (2013), os teores de carbono orgânico total ajudam na agregação do solo, de maneira que a deposição contínua de resíduos orgânicos se torna extremamente importante para a estruturação do solo.

Embora existam inúmeras pesquisas acerca da atividade microbiológica do solo (ALVES, et al., 2011; CHAVEZ, et al., 2011; CAPUANI, et al., 2012; BITTAR, et al., 2013; MULLER, et al., 2014; AMARANTE et al., 2015) os estudos voltados para o aproveitamento da palhada de cana na melhoria das condições do solo na região Nordeste e principalmente no Piauí, ainda são exíguos. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar a atividade microbiana de um Plintossolo, cultivado com cana-de-açúcar, colhida sem a utilização da queima, com a deposição de diferentes proporções da palhada na superfície.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em área pertencente à Usina de Álcool e Açúcar da Companhia do Vale do Parnaíba (COMVAP), empresa pertencente ao grupo Olho D'água, situada no município de União - PI (04°51'09" S e 42°53'10" W, altitude 52 m), na região norte do estado do Piauí.

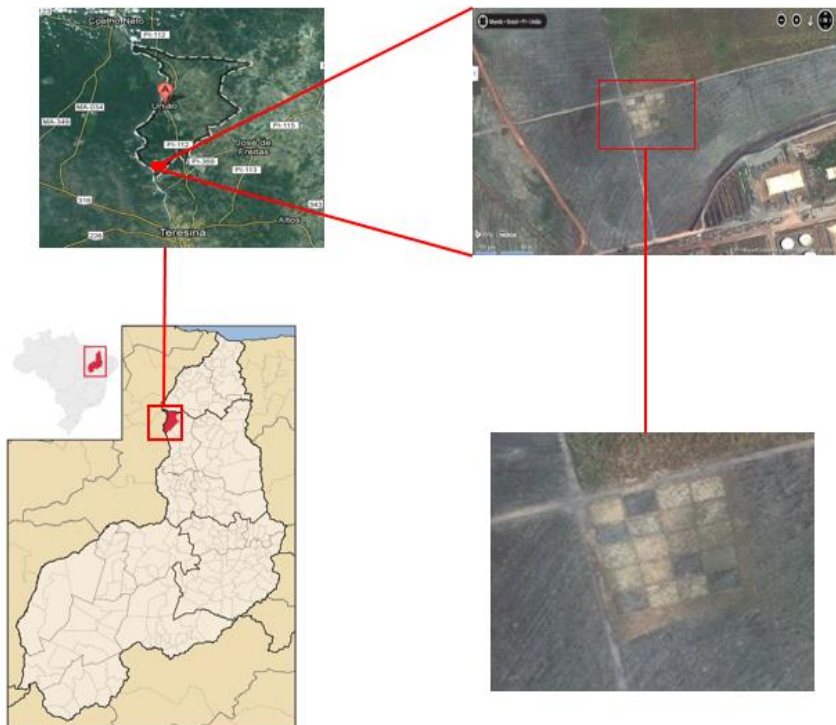


Figura 1: Localização da área de estudo. Imagens: IBGE, Google Earth (2014) e Marverick (2014), adaptada pelo autor.

O clima da região corresponde ao tipo Aw (tropical chuvoso), segundo a classificação de Köppen, com invernos secos e verões chuvosos. A precipitação se concentra entre os meses de dezembro a junho, conforme mostra a figura 2. A temperatura média anual é de 26 °C, entretanto, no decorrer do ano, registra-se um período mais quente (setembro a dezembro), com temperaturas entre 27 e 30°C.

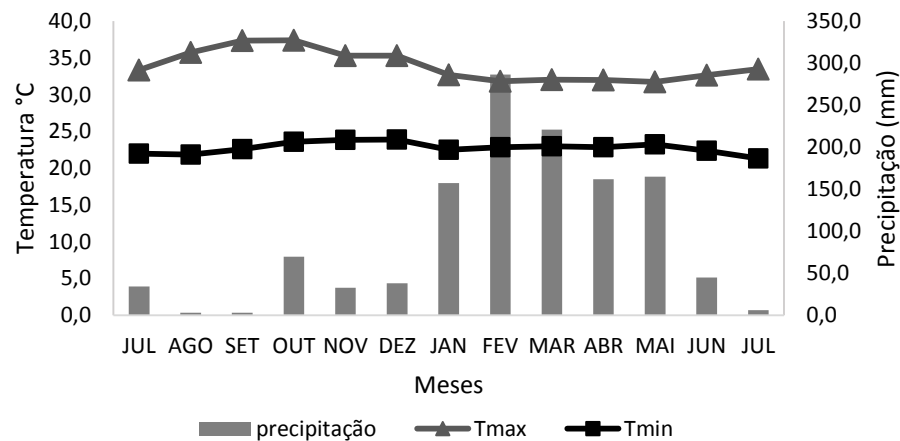


Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima e mínima correspondente aos meses de julho de 2013 a julho de 2014. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Embrapa Meio-Norte, instalada na Usina Comvap.

O solo da área em estudo foi classificado como um Plintossolo Argilúvico de textura arenosa (EMBRAPA, 2006). As características granulométricas e químicas do solo da área experimental na camada 0-40 cm estão na Tabela 1.

Tabela 1. Características granulométricas e químicas da área antes da instalação do experimento no Município de União-PI, 2009.

Características	Camadas			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
Areia Grossa (g kg^{-1})	438	439	407	399
Areia fina (g kg^{-1})	354	351	373	352
Silte (g kg^{-1})	133	128	132	137
Argila (g kg^{-1})	75	82	88	112
Classe textural	Areia Franca	Areia Franca	Franco Arenoso	Franco Arenoso
MO (g/kg)	9,9	7,93	5,13	3,35
pH(H_2O)	6,2	6,2	6,2	5,8
P (mg/dm^3)	83,10	58,72	48,2	28,07
K^+ ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	0,67	0,46	0,37	0,29
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	2,05	2,04	1,42	0,90
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	1,15	0,99	0,85	0,57
Na^+ ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	0,07	0,07	0,06	0,06
Al^{3+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	0,05	0,05	0,05	0,06
H+Al ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	2,61	2,87	2,58	2,30
S ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	3,95	3,57	2,71	1,83
CTC ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	6,56	6,44	5,29	4,32
V (%)	60,29	55,05	51,02	42,26
m (%)	1,26	1,53	2,38	3,07

2.2 Instalação do experimento

A área em estudo foi desmatada em 1981. Entre os anos de 1982 a 2009, foi adotado o sistema de cultivo convencional, com a colheita da cana-de-açúcar realizada com queima e com

renovação do canavial a cada cinco anos. O preparo de solo foi realizado por meio de aração e gradagem, utilizando-se arado de disco e grade niveladora e em alguns anos utilizou-se subsoladores.

Para correção do solo, aplicaram-se 500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. A adubação utilizada foi de 25, 150 e 75 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Anualmente, após a colheita, realizou-se uma adubação de cobertura, com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N, com fertilizante ureia.

O primeiro ano do experimento foi instalado setembro de 2009, com diferentes manejos da palhada, repetindo-se nos anos de 2010, 2011 e 2012. Para esse estudo, o experimento foi instalado em julho de 2013 com colheita da cana sem queima. Utilizou-se uma área com a cana de terceira soca, ou seja, com quatro anos de idade, cultivada com a variedade SP 81-3250.

A variedade SP 81-3250 foi desenvolvida pela da Coopersucar/ Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), lançada no ano de 1995, no Estado de São Paulo. Dentre suas principais características, destaca-se a maturação média, bom rendimento de transporte, bom comportamento com a colheita mecanizada, não possui restrição de brotação de soca, sendo a brotação de soca com palhada considerada excelente, além de possuir resposta instável aos maturadores (COPERSUCAR, 1995).

Com base nas informações descritas, a variedade, desde o primeiro ensaio foi cultivada no espaçamento de 1,4 m entre as fileiras, em que cada parcela experimental apresentava dimensões de 10 m de largura e 15 m de comprimento, totalizando 150 m², composta por 10 linhas de plantio, sendo a área útil formada pelas 5 linhas centrais de cada parcela.

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

O ensaio foi desenvolvido em delineamento experimental em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos avaliados constaram de cinco níveis de palhada (0%, 25%, 50%, 75% e 100% da quantidade total presente na área, calculadas em função dos valores indicados na tabela 2). Após a colheita da cana sem a queima, toda palhada remanescente dentro das parcelas experimentais foi pesada, e posteriormente colocada em cada parcela, obedecendo às quantidades determinadas para cada tratamento (tabela 2).

Tabela 2: Quantidade de palhada depositada no solo, conforme as proporções do ensaio.

Tratamento	Quantidade de palhada colocada no solo (Mg ha⁻¹)
Tratamento 1 (T-0%)	0,0
Tratamento 2 (T-25%)	4,19
Tratamento 3 (T-50%)	9,54
Tratamento 4 (T-75%)	13,04
Tratamento 5 (T-100%)	18,38

2.4 Coleta das amostras e análise de solo

As amostras de solo foram coletadas nove meses após a colheita da safra anterior, na camada de 0 a 10 cm. As amostras foram obtidas por parcela experimental e após coletadas, foram acondicionadas em sacos estéreis, e armazenadas sobre refrigeração para posterior análise.

O carbono orgânico total foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio a 0,167 mol L⁻¹ em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS & BREMNER, 1988). O nitrogênio total foi quantificado nas amostras de solo submetidas à digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldhal (BREMNER, 1996).

Para determinação da densidade do solo (Ds), foram coletadas amostras indeformadas com a utilização do cilindro acoplado ao trado tipo Uhland, seguindo o método do anel volumétrico (SILVA, et al., 2005). Os estoques de COT em profundidade foram calculados a partir da expressão: $EstC = (COT \times Ds \times e)$, em que COT é o teor de carbono orgânico total; Ds é a densidade do solo em cada profundidade e *e* a espessura da camada considerada, neste ensaio 10 cm. O cálculo dos estoques de NT em profundidade foi efetuado seguindo a seguinte expressão: $EstNT = (NT \times Ds \times e)$, em que NT é o teor de nitrogênio total.

O carbono da biomassa microbiana do solo (Cmic) foi determinado pelo método irradiação-extração utilizando na eliminação dos microrganismos um forno de microondas com frequência de 2.450 MHz e energia a 900 W por 180 s (ISLAM & WEIL, 1998; FERREIRA et al., 1999)

A atividade respiratória da biomassa microbiana, ou respiração basal do solo, foi determinada pela quantificação de C-CO₂ produzido a partir de 75 g de solo, incubados por sete dias em sistema fechado, sendo o C-CO₂ capturado em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, e determinado após titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹, usando fenolftaleína 1 % como indicador.

Antes da titulação, foram adicionados 5 mL de BaCl_2 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (ALEF & NANNIPIERI, 1995).

Determinou-se o quociente microbiano, relação entre C da biomassa microbiana/C orgânico (CBM: C) (Sparling,1992) e o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), calculado pela relação entre a respiração acumulada e o C da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1993), expresso em $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de CBM.

As avaliações das variáveis relacionadas à atividade microbiana do solo, considerando a camada de 0-10 cm, resultaram em um conjunto de dados que foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAS 9.0.

Para uma visualização da relação do conjunto de variáveis microbiológicas do solo com os tratamentos estudados e de produtividade, os dados foram submetidos, ainda, à análise multivariada por meio de análise de agrupamento, utilizando o método da distância média entre os grupos (distância euclidiana) e análise de componentes principais (ACP), utilizando o programa estatístico SAS 9.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A manutenção das diferentes proporções de palhada sobre o solo proporcionou efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de COT e relação C: N ($p < 0,01$) (figura 3).

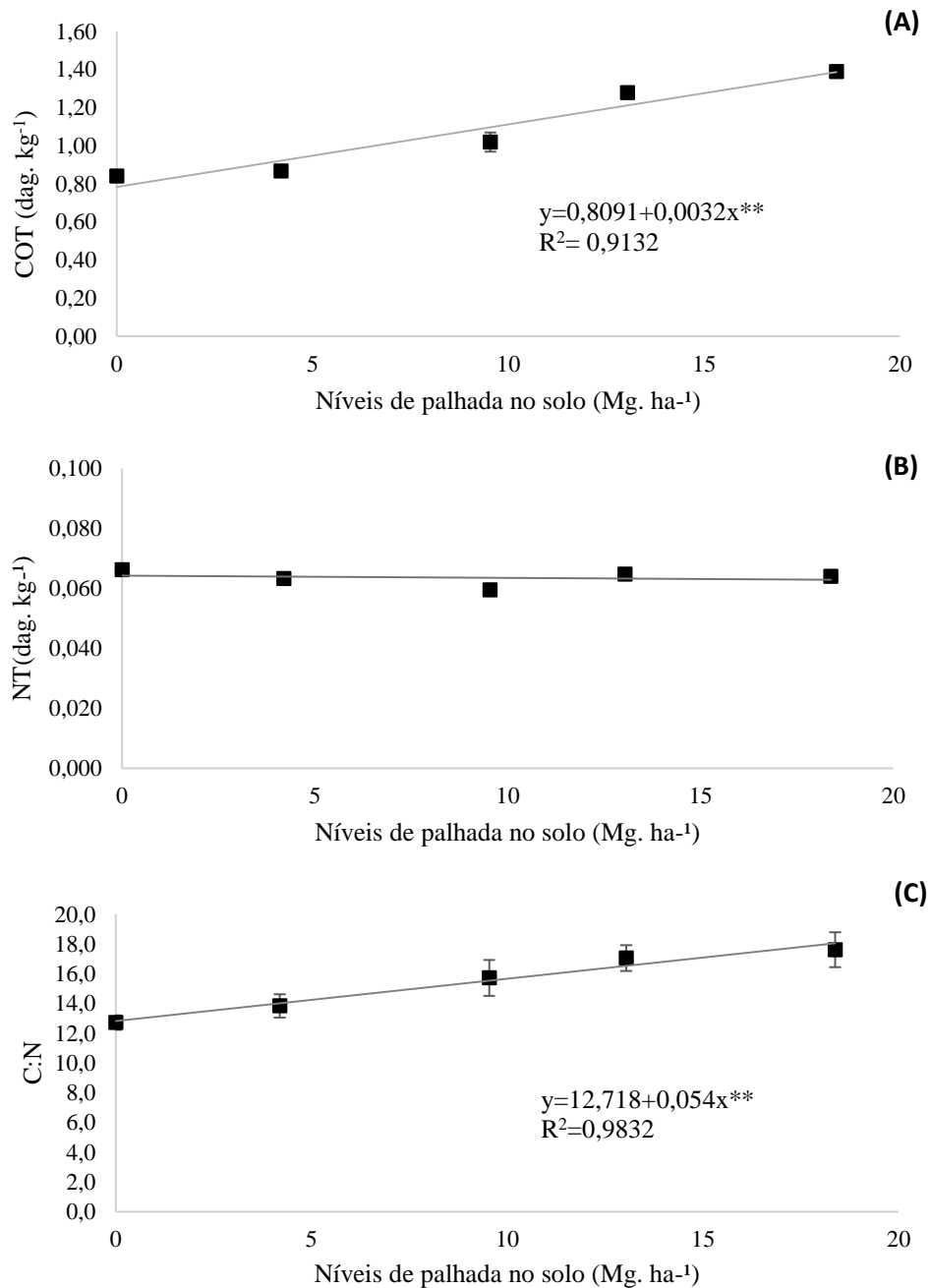


Figura 3. Teores de Carbono Orgânico Total (A), nitrogênio total (B) e relação C: N (C) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palhada. As barras verticais indicam o erro padrão da média (n=4). ** significativo a 1% de probabilidade.

Os teores de carbono orgânico total variaram de 0,84 a 1,39 dag. kg⁻¹ de solo, sendo os maiores valores observados nos tratamentos T4-13,04 Mg ha⁻¹ (1,28 dag.kg⁻¹) e T5-18,38 Mg ha⁻¹ (1,39 dag.kg⁻¹)(Figura 3-A).

Os maiores teores de COT, nos tratamentos T4 e T5 podem ser atribuídos às maiores proporções da palhada depositadas nestes tratamentos (Apêndice-D). Esses resultados corroboram com aqueles obtidos por Pinheiro et al.(2010), que observaram que durante um período de 14 anos, a conservação da palhada de cana-de-açúcar sobre no solo aumentou significativamente os teores de C e N até 10 cm de profundidade. Cruz et al (2010) reportaram valores de COT em Argissolo vermelho-amarelo com palhada de cana que variavam de 0,153 a 0,537 dag.kg⁻¹, bem menores que os valores observados neste ensaio.

Para os teores de nitrogênio total, os tratamentos estudados não apresentaram diferenças (Figura 3-B). Mesmo com o ensaio sendo desenvolvido há 4 anos e com a renovação da exposição da palhada, a cada nova colheita, aos agentes decompositores, não foi observado alteração nos valores de NT, concordando com Silva (2014).

Na relação C: N houve efeito dos níveis de palhada ($p < 0,01$) (Apêndice-D), onde os tratamentos apresentaram valores variando de 12,7 a 17,6. O maior valor da relação C: N está atribuído ao tratamento com 18,38 Mg.ha⁻¹ devido a quantidade de palhada que foi depositada, em relação ao tratamento T-1(Figura 3-C).

Estes valores indicam também que a palhada não está totalmente decomposta, pois a diminuição da relação C: N está atrelada ao consumo da palhada pelos microrganismos do solo, que o liberam na forma de CO₂. Como a palhada de cana-de-açúcar apresenta, em média, uma relação C: N de aproximadamente 100, é de se esperar grande imobilização do N do solo, uma vez que, como regra geral, para relações C: N do solo maiores que 15 a 20, ocorre imobilização (SMITH & DOUGLAS, 1971; SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Wendling et al. (2011) encontraram em áreas do cerrado mineiro valores para relação C: N que variaram de 13,2 a 15,4 na camada 0-10 cm. Segundo os mesmos autores, esses valores são considerados baixos e podem contribuir para a melhoria da atividade microbiana e acelerar a decomposição de material incorporado ao solo.

A deposição de diferentes proporções de palhada sobre o solo, promoveu o aumento de estoques de carbono, que variaram de 11,8 a 17,3 Mg. ha⁻¹(Figura 4-A). Os estoques de carbono orgânico total apresentaram-se com maiores valores ($p < 0,01$) nos tratamentos com 13, 04 e 18,38 Mg. ha⁻¹ (Apêndice- D).

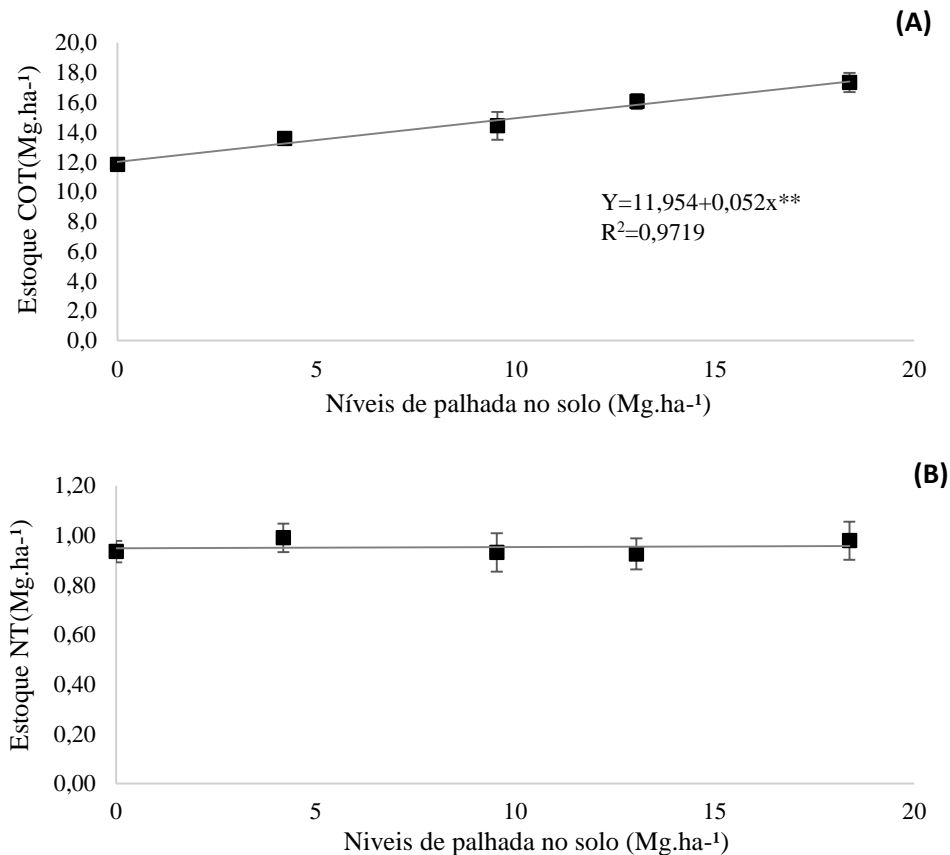


Figura 4. Estoques de Carbono (A) e nitrogênio (B) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palhada. As barras verticais indicam o erro padrão da média (n=4). ** significativo a 1% de probabilidade.

Segnini et al. (2013), observaram na camada superficial do solo com deposição de 12 a 15 Mg.ha⁻¹ de palhada, valores para estoques de C que variaram entre 13,3 e 13,9 Mg.ha⁻¹. Nessa camada há a decorrência do maior aporte de resíduos vegetais e maior concentração de raízes da cultura, razão que pode ser atribuída ao resultado encontrado nesse ensaio.

Cunha (2012) e Silva (2014) neste mesmo ensaio, em ciclos anteriores, observaram estoques de carbono que variaram de 6,25 a 11 Mg.ha⁻¹ e 6,25 a 13,63 Mg.ha⁻¹, respectivamente, valores menores que os encontrados no ensaio para o ciclo atual, em que esses estoques dobraram, inclusive o tratamento sem palhada. Nesse caso deve ser levado em consideração a contribuição da palhada da própria planta que é depositada naturalmente no solo ao longo do ciclo, o que pode ter contribuído para esse resultado. Alguns autores relatam que a deposição de palhada de cana- de- açúcar na superfície do solo, aumenta gradativamente os estoques de carbono ao longo do tempo. (GALDOS et al.,2009; DALAL et al., 2011; SOUZA et al., 2012; THORBURN et al., 2012; ROSSI et al., 2013).

O incremento nas proporções de palhada resultou na ausência de efeitos sobre os estoques de nitrogênio (Figura 4-B). Uma possível explicação para os baixos valores de estoques de nitrogênio, está no curto tempo de adoção do sistema, visto que, segundo Carvalho et al. (2009), o aumento da matéria orgânica do solo em áreas de sistema de plantio direto, por exemplo, pode estar relacionado principalmente ao tempo de instalação, pois o acúmulo de carbono e nitrogênio nesse sistema ocorre lentamente, levando de 10 a 15 anos para se tornar expressivo.

Para o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), o tratamento T5- $18,38 \text{ Mg. ha}^{-1}$ sobressaiu-se em relação aos tratamentos com 0, 4,19 e $9,54 \text{ Mg. ha}^{-1}$ de palhada ($p < 0,01$), e se igualou ao tratamento com $13,04 \text{ Mg. ha}^{-1}$ de palhada no solo (Figura 5-A).

Os maiores valores de C_{mic} encontrados em T5, indicam uma condição mais favorável à atividade dos microrganismos presentes no solo. Isto está atribuído à maior deposição de palhada no solo, levando-se em conta que, a palhada proporciona maior cobertura do solo, e conseqüentemente favorece menores variações de temperatura e umidade, além de disponibilizar maior quantidade de substrato orgânico para decomposição e mineralização, o que pode ter uma forte influência na atividade e na biomassa microbiana, como propõem Moreira e Siqueira (2006).

Verificou-se uma maior quantidade de N imobilizado na biomassa microbiana relacionada aos tratamentos com $13,04$ e $18,38 \text{ Mg. ha}^{-1}$ de palhada ($p < 0,01$) (Figura 5-B). Os teores de nitrogênio da biomassa variaram de $1,87$ a $2,62 \text{ g. kg}^{-1}$, sendo os maiores valores observados aproximadamente 9 vezes maior que o teor de N_{mic} constatado por Czczyca (2009). Esses resultados também discordaram daqueles reportados por Meier e Thorburn (2006), que não observaram diferenças entre o nitrogênio da biomassa microbiana de solo com palhada de cana e solo sem palhada.

Em alguns estudos como o de Santos et al (2004) foi possível constatar que a menor mobilização do solo e adoção de sistema de manejo conservacionista, proporcionam em superfície uma biomassa microbiana semelhante a solos naturais, se tratando de nitrogênio microbiano. Em alguns casos, quanto mais conservacionista for o sistema de manejo do solo, maior será o acúmulo de nitrogênio na superfície, imobilizado na biomassa microbiana (FIGUEIREDO et al., 2007).

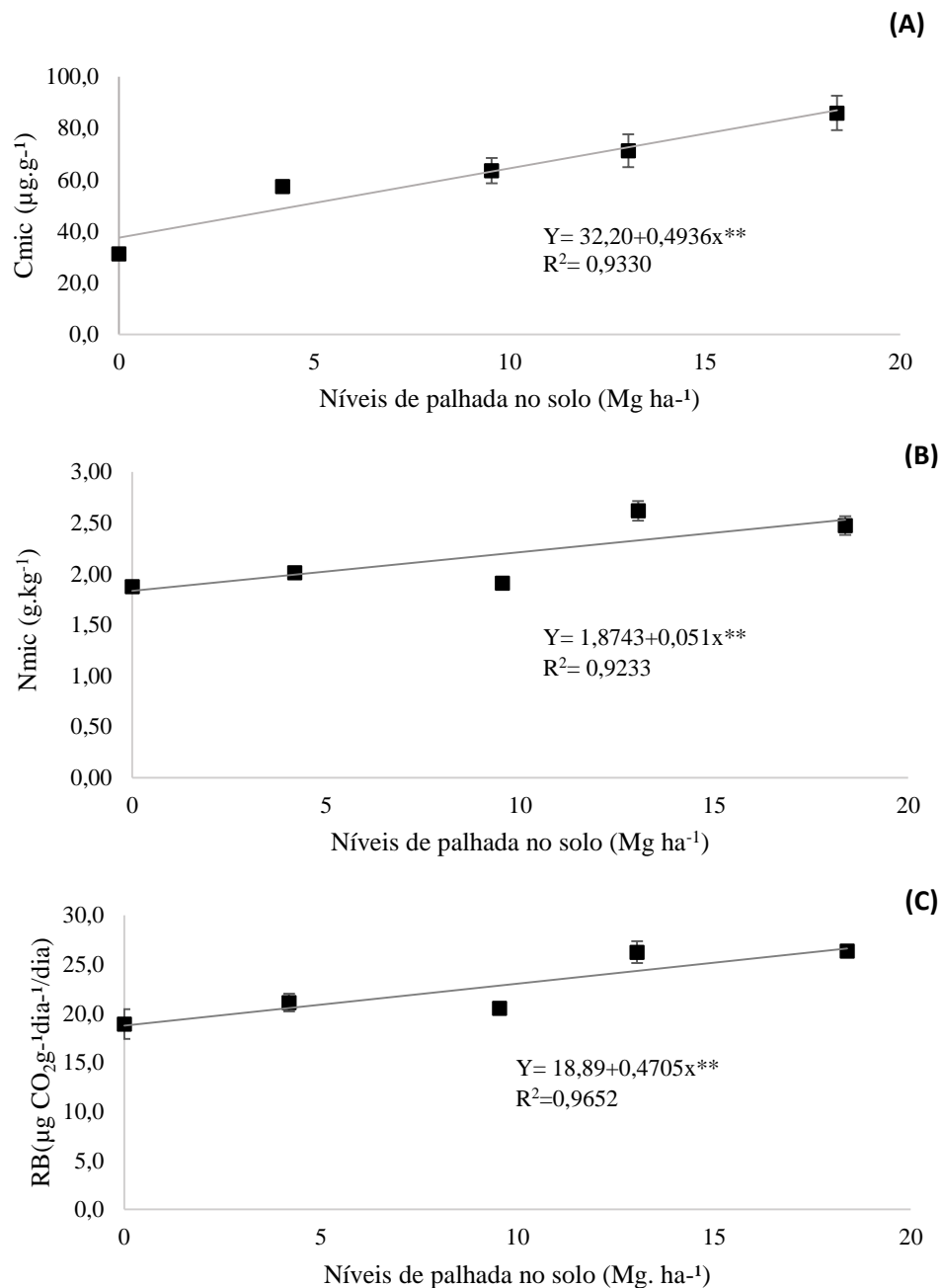


Figura 5. Teores de Carbono da biomassa microbiana (A), nitrogênio da biomassa microbiana (B) e respiração (C) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palhada. As barras verticais indicam o erro padrão da média (n=4). ** significativo a 1% de probabilidade.

Para respiração microbiana, observou-se que os tratamentos com 13,04 e 18,38 Mg.ha⁻¹ apresentaram valores superiores em relação aos outros tratamentos (p<0,01) (Figura 5-C), indicando maior atividade microbológica do solo, devido a maior quantidade palhada depositada (SILVA et al., 2010).

Os valores da relação C_{mic}/COT em todos os tratamentos e profundidades, foram baixos, havendo diferença entre eles ($p < 0,01$) (Apêndice-D), apresentando uma tendência crescente. (Figura 5-A). Para o quociente metabólico houve efeito dos níveis de palhada no solo, apresentando tendência decrescente (Figura 6-A).

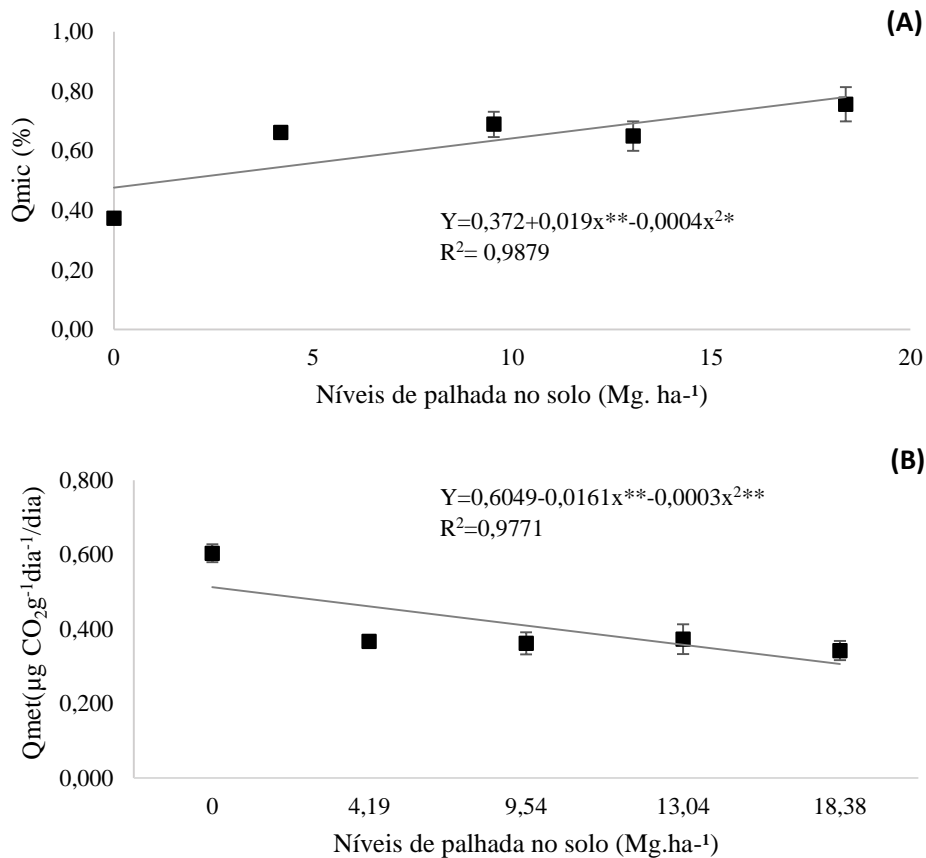


Figura 6. Quociente microbiano (A) e quociente metabólico (B) de um Plintossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, após colheita sem queima e deposição de diferentes proporções da palhada. As barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=4$). ** significativo a 1% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade.

Os valores observados indicam que o tratamento com 0 Mg. ha^{-1} obteve o menor quociente microbiano, em relação aos demais tratamentos que não apresentaram diferenças (Apêndice-D). No entanto, este resultado constatou que os quocientes observados estão abaixo daqueles que Jenkinson & Ladd, (1981) consideram adequados, um intervalo entre 1 e 4%. Esse quociente microbiano expressa a eficiência da população de microrganismos em imobilizar carbono e indica o quanto a biomassa microbiana representa de reservatório lábil do elemento carbono (WARDLE, 1994; CUNHA, 2012).

Os valores baixos encontrados nesse ensaio indicam que mesmo após 4 anos coberto com palhada de cana-de-açúcar, essa condição provavelmente não tenha sido suficiente para amenizar a situação de estresse da microbiota do solo, que provoca essa menor eficiência. Pode

também indicar uma baixa qualidade nutricional da matéria orgânica, incapacitando a biomassa microbiana de utilizar o carbono orgânico.

Quando se considera a respiração por unidade de carbono microbiano, percebe-se a maior atividade ocorre no tratamento sem palhada de cana sobre o solo (figura 6-B). Observa-se que quando se aumenta a proporção de palhada no solo, há uma diminuição na produção de CO_2 por unidade de carbono da biomassa microbiana. Esse maior valor de quociente metabólico no tratamento zero é indicativo de que a condição de estresse alimentar faz com que os organismos consumam mais substratos, gastando mais energia para manter a comunidade microbiana (CARNEIRO et al., 2008; MAZURANA et al., 2013).

Diante da possibilidade de utilização das variáveis selecionadas para distinção dos tratamentos estudados, fez-se o uso da análise de agrupamentos, onde obteve-se a variação dos valores de distância euclidiana entre os tratamentos, sendo possível a divisão de grupos (Figura 7).

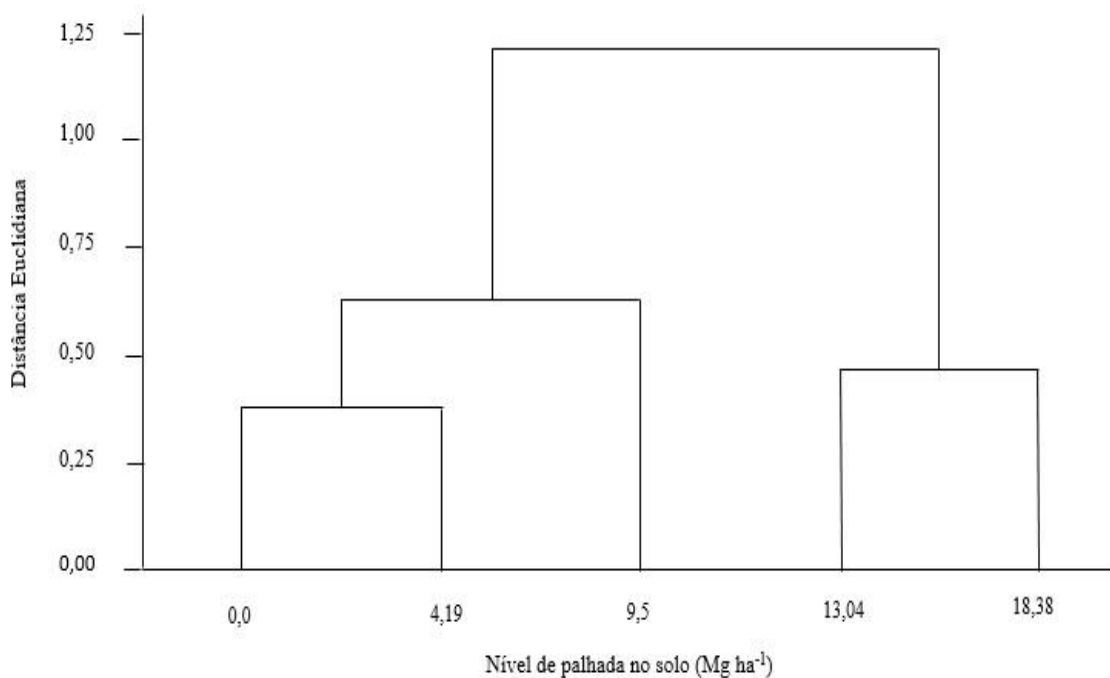


Figura 7. Dendrograma resultante da análise de agrupamentos pela distância euclidiana média, mostrando a formação de grupo segundo as variáveis do solo na profundidade de 0-10 cm e produtividade.

Foi admitido um corte na distância euclidiana de 0,5, o que favoreceu a divisão em grupos, indicando que, com o uso das variáveis anteriormente citadas é possível ordenar os dados em três grupos distintos. O grupo 1 formado pelo tratamento T1- 0 e T2- 4,19 Mg. ha^{-1}

de palhada no solo, o grupo formado pelos tratamentos T3-9,54 Mg. ha⁻¹ de palhada no solo e o grupo 3 formado pelos tratamentos T4-13,04 e T5-18,38 Mg. ha⁻¹ de palhada no solo.

Essa diferenciação mostra que as características do solo dos tratamentos pertencente ao mesmo grupo são semelhantes e se diferenciam do comportamento das variáveis de outros grupos, ou seja, os tratamentos com solo sob diferentes proporções de palhada de cana-de-açúcar formam grupos distintos o que demonstra alterações nas características do solo de grupo para grupo.

Freitas et al.(2014b) avaliando os atributos do solo, com diferentes texturas, em áreas de plantio de cana, com torta de filtro incorporado ao solo, ao submeter os dados à análise de agrupamentos, encontrou a divisão em três grupos distintos, indicando a similaridade de algumas áreas nessas características independente da textura do solo.

A diferença entre os grupos, dessa forma, resulta em diferenças observadas nos atributos avaliados neste experimento. Logo, a grande proximidade entre os grupos pode ser evidenciada na análise de componentes principais, que vem confirmar a análise de agrupamentos para os tratamentos estudados.

A correlação das variáveis (Tabela 3) permitiu uma caracterização das variáveis que mais discriminaram na formação e diferenciação das proporções de palhada no solo. Os autovalores obtidos da matriz de covariância, com valores maiores que 1, confirmam a análise de agrupamentos para os tratamentos estudados. Dessa forma, pode-se utilizar a primeira e a segunda componente principal, para explicar no mínimo 70% da variância total, tendo em vista que somente estes apresentaram valores maiores que 1 (8,90 para CP1 e 1,21 para CP2).

Quanto ao percentual de variância explicada pelas componentes principais, verifica-se que as duas primeiras componentes principais são responsáveis por 92,01% da variância total, sendo 80,94% na CP1 e 11,07% na CP2, havendo redução de dimensionalidade das variáveis originais, com perda de explicação menor que 10%. Oliveira et al.(2015), avaliando solos de áreas de cana-de-açúcar, mandioca, pastagem, floresta e terra preta arqueológica encontraram 73,51% de variabilidade dos dados explicada por três componentes principais.

Tabela 3. Correlação entre cada componente principal e os atributos do solo analisados na camada de 0-10 cm.

Atributos	Componentes principais	
	CP1	CP2
Carbono Orgânico Total	0,9437*	-0,6476
Nitrogênio Total	-0,9078*	0,0647
Carbono da biomassa microbiana	0,9813*	0,2062
Nitrogênio da biomassa microbiana	0,8745*	0,3033
Estoque de Carbono	0,9906*	0,1277
Estoque de Nitrogênio	-0,4959	0,8691*
C:N	0,9902*	0,0393
Quociente metabólico	-0,83129	0,4636
Quociente microbiano	0,8581	-0,3452
Respiração basal	0,9105*	0,5183
Densidade do solo	0,998*	0,1329
Produtividade	0,8757*	0,3430

*valores mais discriminatórios.

A primeira componente principal foi representada por autovetores positivos e apenas 3 negativos. Observa-se a influência da maioria das variáveis no eixo da CP1. Constatou-se também a influência dos teores de nitrogênio e quociente metabólico no eixo da CP1 como autovetores negativos.

Na segunda componente principal, observou-se a maioria dos autovetores positivos, dando-se destaque para a influência do estoque de nitrogênio total, no eixo do CP2 e para os autovetores negativos destaca-se os teores de carbono orgânico total.

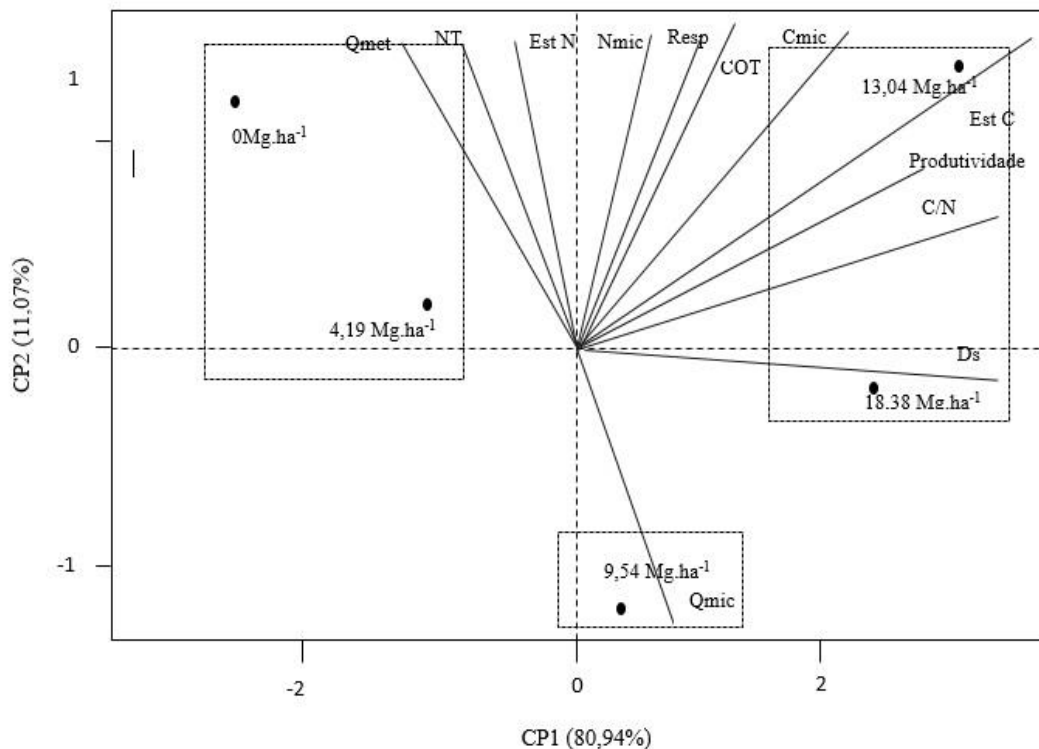


Figura 8. Análise de componentes principais (ACP) com base nas variáveis do solo nos diferentes tratamentos 0, 4.19, 5.54, 13.04 E 18.38 Mg.ha⁻¹ de palhada remanescente no solo, na camada de 0-10cm.

Observa-se na Figura 8, que o tratamento T1-0 Mg.ha⁻¹ formou um grupo com o tratamento T2- 4,14 Mg.ha⁻¹ e se posicionou no quadrante superior esquerdo, ou seja, lado oposto à disposição das variáveis utilizadas. A variável mais correlacionada com esse grupo foi o quociente metabólico, teor de nitrogênio total e estoque de nitrogênio.

O segundo grupo, constituído pelo tratamento T2- 9,54 Mg.ha⁻¹, que formou um grupo isolado, posicionando-se no quadrante inferior esquerdo. Esse grupo melhor correlacionou-se com as variáveis relação quociente microbiano. O terceiro grupo, constituído dos tratamentos T4- 13,04 e T5-18,38 Mg.ha⁻¹, posicionou-se nos quadrantes superior e inferior direito e esteve associado à maioria dos atributos do solo e produtividade de colmos em Mg. há⁻¹. Este grupo esteve mais correlacionados com a maioria das variáveis estudadas devido ao maior aporte de resíduo vegetal depositados nos tratamentos. Freitas et al. (2014a), avaliando áreas manejadas, sendo uma delas com cana-de-açúcar e comparando com áreas de mata nativa, encontraram uma maior relação das variáveis biológicas com áreas onde não houve a interferência antrópica e ação de maquinário agrícola, associado ao aporte de resíduos vegetais.

Analisando as variáveis separadamente, pode-se observar diferenças entre os tratamentos na maioria delas. Por meio das técnicas de análise multivariadas, foi possível

identificar quais variáveis mais se correlacionaram com cada tipo de tratamento e os efeitos na alteração nas características do solo, podendo indicar qual a melhor quantidade de palhada pode ser deixada no solo, promovendo melhoria no mesmo e maior produtividade.

4. CONCLUSÕES

O incremento da palhada no solo contribui para a melhoria de seus atributos biológicos, apesar de algumas variáveis não terem apresentado mudanças significativas com o aumento dos percentuais de palhada no solo.

A análise multivariada através de análise de agrupamentos permitiu visualizar a separação dos tratamentos com menores quantidades de palhada no solo (zero e 4,19 Mg.ha⁻¹), do tratamento com palhada em nível intermediário (9,54 Mg.ha⁻¹) e dos tratamentos com palhada em maior quantidade (13,04 e 18,38 Mg.ha⁻¹).

O tratamento com ausência de palhada é mais sensível ao quociente metabólico, enquanto a presença de 13,04 e 18,38 Mg.ha⁻¹ de palhada no solo é mais sensível à maioria dos atributos avaliados, atribuindo-se a melhoria da qualidade do solo coberto com esses níveis de palhada de cana, além das melhores produtividades, sendo recomendada a utilização desses níveis de palhada no solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOIM, M.C.R.; COUTINHO, H.L.C.; PEIXOTO, R.S.; BARBOSA, J.C.; ROSADO, A.S. Soil bacterial community structure and soil quality in a slash-and-burn cultivation system in Southeastern Brazil. **Plant Biotechnology** 38: 100–108, 2008.
- ALEF, K. & NANNIPIERI, P. (eds.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995, 576p.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M. e LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy** Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- AMARANTE, C. V. T.; ROSA, E. F. F.; ALBUQUERQUE, J. A.; KLAUBERG FILHO, O.; STEFFENS, C. A.; Atributos do solo e qualidade de frutos nos sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs no Sul do Brasil. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 46, n. 1, p. 99-109, 2015.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biol. Biochem.** 21:474-479, 1989.
- BARROS, J.D.de S.; CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I. de B.; FARIAS, C.H. de A.; PEREIRA, W. E. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos Tabuleiros Costeiros paraibanos. **R. Caatinga**, 26:35-42, 2013.
- BITTAR, I. M. B.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 6 , p. 1952-1960, 2013.
- BREMNER, J. M. Nitrogen Total. In: SPARKS, D. L. **Methods of Soil Analysis: Part 3**. 5ed. Madison, SSA Book Series, 1996. 1085-1121p.
- CANELLAS, L.P.; BUSATO, J.G.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; RUMJANEK, V.M. & OLIVARES, F.L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugar cane. **Eur. J. Soil Sci.**, 61:375-383, 2010.
- CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. M.; BRITO NETO, J. F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. R. Bras. **Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.12, p.1269–1274, 2012.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. E SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Rev. Bras. Ci. Solo**, vol.32, n.2, p. 621-632, 2008.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de seqüestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277- 289, 2010.
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soils tilage Res.**, 103: 342-349, 2009.

- CHAVEZ, L. F.; ESCOBAR, L. F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidade de pastejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.46, n.10, p.1254-1261, 2011.
- CUNHA, J. R. da. **Manejo da palhada de cana-de-açúcar (*Sacharum ssp.*) e seus efeitos sobre a dinâmica da matéria orgânica e dos atributos biológicos de um Plintossolo no norte do Piauí**. Dissertação (Mestrado em manejo do solo e água) -Universidade Federal da Paraíba, 83p., 2012.
- CZYCZA, R.V. **Quantidade e qualidade de matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima de cana-de-açúcar**. Dissertação (mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo- Esalq, 2009.
- COPERSUCAR. **Censo varietal quantitativo**, Centro de Tecnologia da COPERSUCAR Piracicaba, SP, 1995
- CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; TAVARES, R. C. Análise Espacial de Atributos Físicos e Carbono Orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo Cultivado com Cana-de-açúcar. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 271-278, mar./abr., 2010.
- JESUS. E.C.; MARSH, T.L.; TIEDJE, J.M., MOREIRA, F. M. S. Changes in land use alter the structure of bacterial communities in Western Amazon soils. **The ISME journal** 3: 1004–1011, 2009.
- DALAL, R. C; ALLEN, D. E; WANG, W. J; REEVES, S; GIBSON, I. Organic carbon and total nitrogen stocks in a Vertisol following 40 years of no - tillage, crop residue retention and nitrogen fertilisation. **Soil and Tillage Research**, 12, 133-139.2011.
- DENDOOVEN, L.; GUTIÉRREZ-OLIVA, V.F.; PATIÑO-ZÚÑIGA, L.; RAMÍREZ-VILLANUEVA, D.A.; VERHULST, N.; LUNA-GUIDO, M.; MARSCH, R.; MONTES-MOLINA, J.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.A.; VÁSQUEZ-MURRIETA, S. & GOVAERTS, B. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. **Sci. Total Environ**, 431:237-244, 2012.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 3-21, 1996. (Special Publication, 35).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 6, p. 991-996, 1999.
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B.; RAMOS, M.L.G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um latossolo vermelho no Cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 551-562, 2007.
- FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; SOUZA JÚNIOR,

P. R. de; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Rev. Agroambiente**. v.8, n.2, p. 155-164, 2014a.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 57, n. 3, p. 224-233, 2014b.

GALDOS, M.V; CERRI, C.C; CERRI, C.E.P; PAUSTIAN, K; ANTWERPEN, R. van. Simulation of sugarcane residue decomposition and aboveground growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 326, p. 243–259, 2010.

ISLAM, K. R. & WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fertl. Soils**, p. 408-416, 1998.

JENKINSON, D. S. & LADD, J. N. Microbial biomass in soil: Measurements and turnover. In: PAUL, E. A. & LADD, J. N., eds. **Soil biochem**. 5. ed. New York, Marcel Dekker, 1981. p. 415-471.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; CAMARGO, E.; SCHMITT, C.; ANDREAZZA, R.; OLIVEIRA, F. A. D. Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil. **Rev. Ci. Agrárias** 36.3 (2013): 288-296.

MEIER, E.A.; THORBURN, P.T. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland Nutr Cycl. **Agroecosyst Sustainable Ecosystems**, Madison, v.15, n.1, p.101-114, 2006.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **R. Bra. Ci. Solo**, v.37 n.6, 1720-1728, 2013.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MULLER, H. D.; CAMILI, E. C.; GUIMARÃES, S. C.; CAMPO, D. T. S.; MARTINS, M. E.; BARROS, K. C. Biomassa e atividade microbiana de solo sob aplicação de resíduos orgânicos. **Revista Internacional de Ciências** · v.4 - n.2. 2014.

NEVES, C. M.N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. M.; MOREIRA, F. M. S. & D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 105-112, jan./fev., 2009.

OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L. de; M. D. R. SOARES. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**. V.45, n.1, p. 1-12, 2015.

PANOSSO, A.R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA JR., N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil Till. Res.**, 105:275-282, 2009.

PINHEIRO, E.F.M; LIMA, E; CEDDIA, M.B; URQUIAGA, S; ALVES, B.J.R; BODDEY, R.M Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen

stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant Soil** v. 333, p.71–80, 2010.

RACHID, C. T.C.C.; PICCOLO, M. C.; LEITE, D. C. A.; BALIEIRO, F. C.; COUTINHO, H. L.; VAN ELSAS, J. D.; PEIXOTO, R. S.; ROSADO, A. S. Physical- chemical and microbial changes in Cerrado soil under differing sugarcane harvest management system, **BMC Microbiology**, 12, 2012

RACHID C.T.C.C.; SANTOS, A.L.; PICCOLO, M.C.; BALIEIRO, F.C.; COUTINHO, H.L.C.; PEIXOTO, R. S.; TIEDJE, J. M.; ROSADO, A. S. Effect of Sugarcane Burning or Green Harvest Methods on the Brazilian Cerrado Soil Bacterial Community Structure. **PLOS ONE** 8(3): e59342, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0059342

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; GAZOLLA, P.R.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. dos. Changes in soil C and N distribution assessed by natural ¹³C and ¹⁵N abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a Cerrado area of Goiás, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 170, p. 36–44, 2013.

SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, D.G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, n. 3, p. 333-338, 2004.

SEGNINI, A.; CARVALHO, J. L. N.; BOLONHEZI, D.; MILORI, D. M. B. P.; SILVA, W. T. L. D.; SIMÕES, M. L.; CANTARELA, H.; DE MARIA, I. C.; MARTIN-NETO, L. Carbon stock and humification index of organic matter affected by sugarcane straw and soil management. **Scientia Agricola**, 70(5), 321-326, 2013

SILVA, A. G. da. **Atributos químicos e frações húmicas e granulométricas da matéria orgânica do solo sob diferentes níveis de palhada de cana- de- açúcar (*Sacharum ssp.*)**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí- PI. 88 p. 2013.

SILVA-OLAYA, A.M.; CERRI, C.E.P.; LA SCALA JR., N.; DIAS, C.T.S. & CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environ. Res. Lett.**, 8:1-8, 2013.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. & ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. Viçosa, **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1585-1592, 2010.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ci. Rural**, 35:544-552, 2005.

SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília, MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236p.

SMITH, J.H. & DOUGLAS, C.L. Wheat straw decomposition in the field. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 35:269-272, 1971

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

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum: Agronomy**, 32: 61-68, 2010.

THORBURN, P. J; MEIER, E.A; COLLINS, K; ROBERTSON, F.A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil & Tillage Research** v. 120, p. 99–11, 2012.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:309-316, 2010.

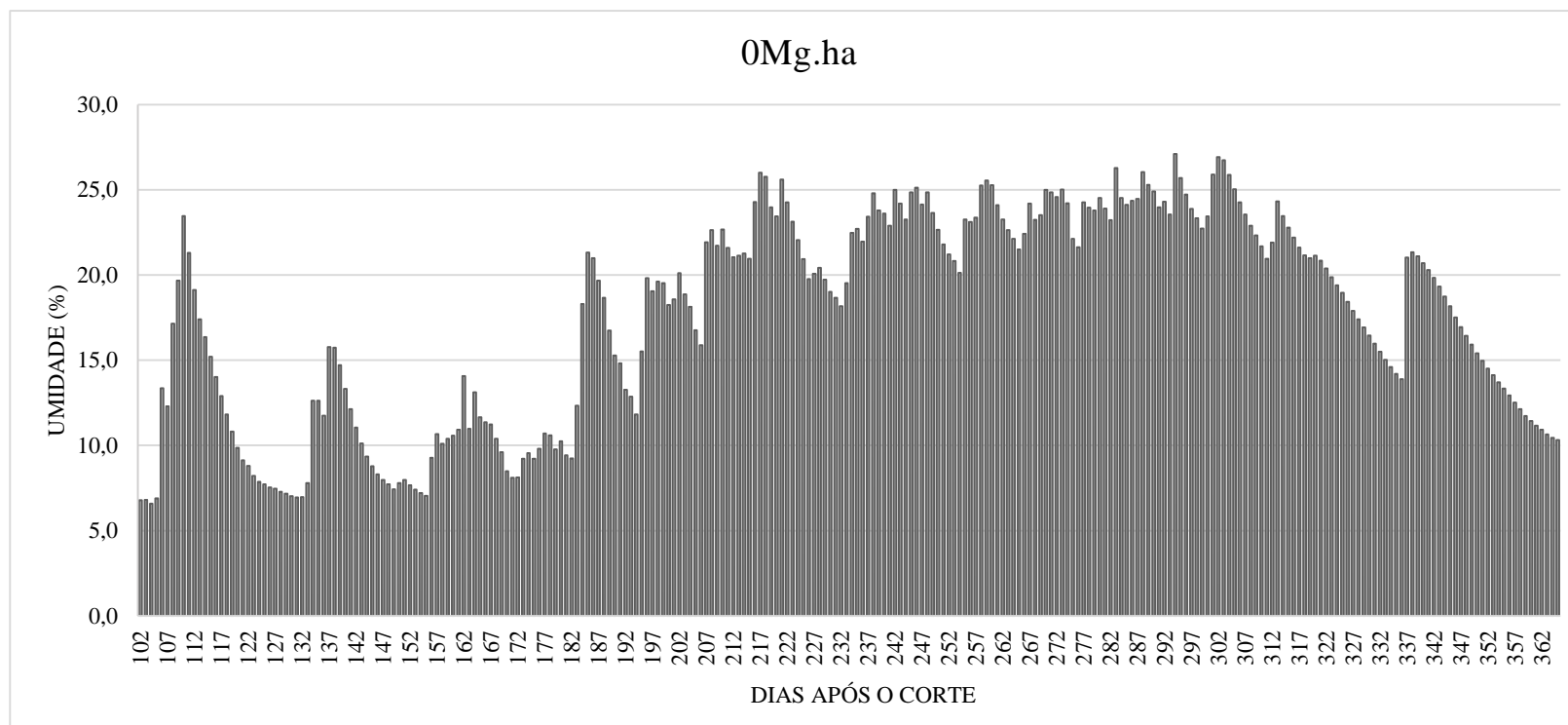
WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M. & ARAÚJO, R.S., eds. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.419-436.

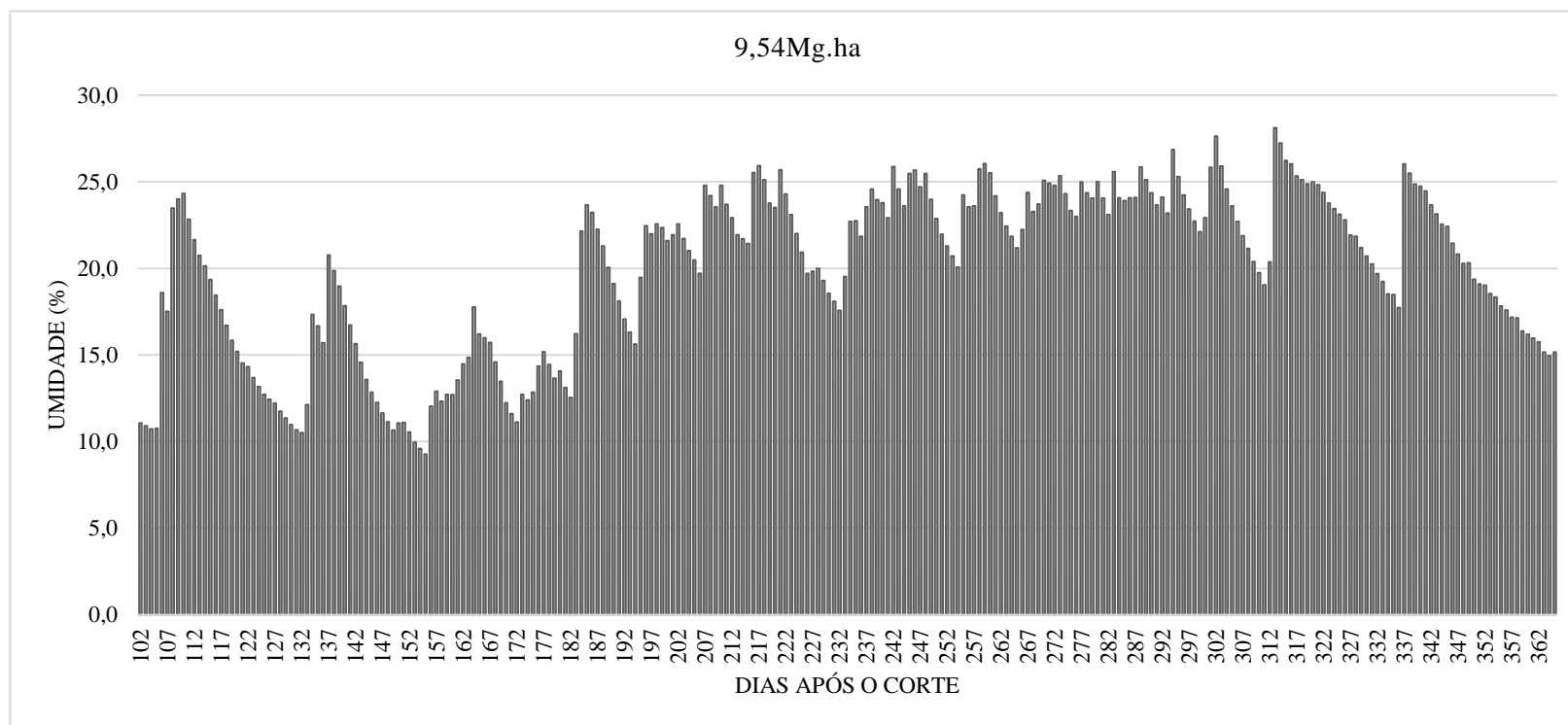
WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. D. S.; VINHAL-FREITAS, I. C. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob sistema agrossilvopastoril. **Ci. Flor.**, 21:4:641-653, 2011.

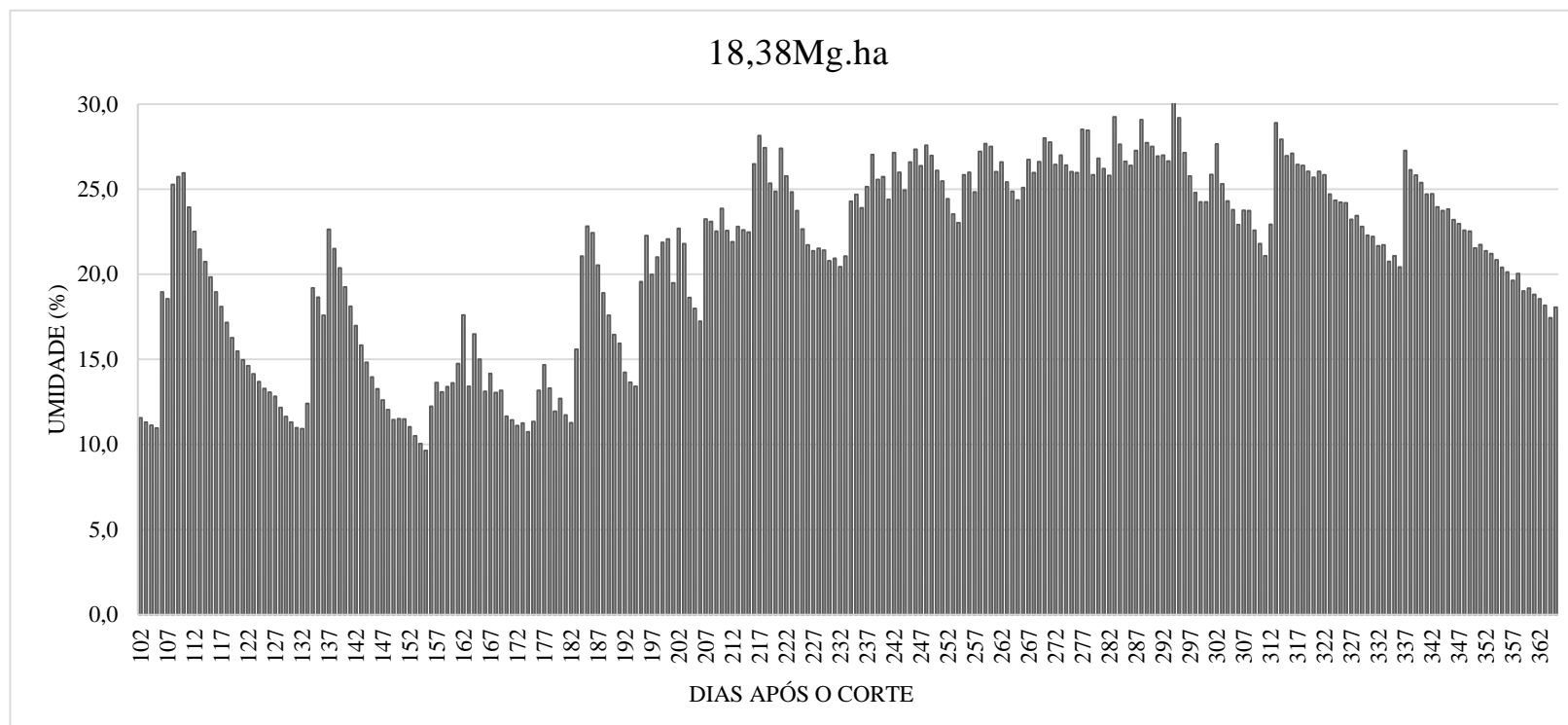
YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications Soil Science Plant Analysis**, 19: 1467-1476, 1988.

6. APÊNDICES

Apêndice A- Umidade do solo (%) na camada 0-30 cm em Plintossolo cultivado com cana-de-açúcar sob 0 Mg.ha⁻¹ de palhada em superfície.



Apêndice B- Umidade do solo (%) na camada 0-30 cm em Plintossolo cultivado com cana-de-açúcar sob 9,54 Mg.ha⁻¹ de palhada em superfície

Apêndice C- Umidade do solo (%) na camada 0-30 cm em Plintossolo cultivado com cana-de-açúcar sob 18,38 Mg.ha⁻¹ de palhada em superfície

Apêndice D- Quadro da análise de variância (ANOVA) dos atributos microbiológicos de um Plintossolo cultivado com cana-de-açúcar, sob diferentes níveis de palhada, na camada de 0-10 cm, comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Níveis de palhada	COT	NT	C:N	EstC	EstN	Cmic	Nmic	Respiração	Qmic	Qmet
Mg.ha ⁻¹	-----dag.kg ⁻¹ -----			-----Mg.ha ⁻¹ -----		µg.g ⁻¹	g.kg ⁻¹	(µg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹) /dia	%	µg CO ₂ . µg Cmic ⁻¹ .dia ⁻¹
0	0,84b	0,066a	12,7b	11,8c	0,93a	31,2c	1,87b	18,899b	0,37b	0,604b
4,19	0,87b	0,063a	13,8b	13,6b	0,99a	57,4b	2,01b	18,523b	0,66a	0,367a
9,54	1,02b	0,060a	15,7ab	14,4b	0,93a	63,6b	1,91b	19,043b	0,69a	0,362a
13,04	1,28a	0,065a	17,1a	16,1a	0,92a	71,3ab	2,62a	20,953a	0,65a	0,373a
18,38	1,39a	0,064a	17,6a	17,3a	0,98a	86,0a	2,47a	21,093a	0,76a	0,342a
CV(%)	6,38	5,5	8,67	7,88	6,49	16,07	8,35	9,38	13,25	15,04

*COT: carbono orgânico total, NT: nitrogênio total, C:N: relação carbono/nitrogênio, EstC: estoque de carbono, EstN: estoque de nitrogênio, Cmic: carbono da biomassa microbiana, Nmic: Nitrogênio da biomassa microbiana, Qmic: Quociente microbiano, Qmet: Quociente metabólico, CV: coeficiente de variação.