

# Emissões de gases de efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar colhida crua e queimada

Jeferson Azevedo das Neves<sup>1</sup>, Crislâny Canuto dos Santos<sup>2</sup>, André Felipe Câmara Amaral<sup>3</sup>, Selenobaldo Alexnaldo Cabral de Sant'Anna<sup>4</sup>, Paulo Albuquerque Silva<sup>5</sup>, Walane Maria Pereira de Mello Ivo<sup>6</sup>

**Resumo** - Compromissos do Brasil para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pela utilização de práticas mitigadoras na agropecuária nacional fazem com que a geração de informações sobre emissões e fatores de emissão para todas as regiões do país seja de grande importância para subsidiar o Inventário Nacional de Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, bem como alimentar modelos para prospecção de cenários futuros. Para a região Nordeste, poucos dados foram gerados, sendo necessária a intensificação destas medições visando a geração de informações mais completas para o país. Neste sentido, a cultura da cana-de-açúcar tem uma importante representatividade no cenário da agricultura da região, além de fazer parte da RenovaBio, reforçando a necessidade de se conhecer as emissões de GEE vinculadas à cultura. O objetivo do presente trabalho é quantificar fluxos e emissões acumuladas de gases de efeito estufa sob diferentes sistemas de colheita da palhada da cana-de-açúcar e sob sistemas de adubação nitrogenada (adubo verde e fertilizante), em solos de Tabuleiros Costeiros. O trabalho foi conduzido em duas áreas experimentais. Uma das áreas é localizada no município de Rio Largo, Alagoas, onde os tratamentos estudados foram: (1) solo descoberto, (2) solo com cana-de-açúcar cultivada e 0% da palhada deixada em superfície, (3) 50% da palhada e (4) 100% da palhada deixada em superfície. No ano de 2018 foi conduzido o estudo adicional de avaliação das emissões com uso de fertilizante nitrogenado, nesta área experimental, com aplicação de doses de 100 Kg de N/ha, nas parcelas 0% e 100%. A outra área experimental fica no município de Coruripe, e os tratamentos avaliados foram 0% e 100% da palhada deixada em superfície (0 Mg/ha e 15 Mg/ha de palhada), com e sem adubação verde com crotalária espectabilis. As avaliações das emissões foram realizadas com câmaras estáticas e as amostras de ar foram analisadas por cromatografia, em um cromatógrafo equipado com um detector com captura de elétrons ECD (Electron Capture Detection) e um detector de ionização de chama (FID), para quantificar a concentração de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> nas amostras de ar. A manutenção da palhada da cana-de-açúcar sobre a superfície do solo favorece maiores emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. Para os anos avaliados, os fluxos de N<sub>2</sub>O são menores que aqueles dos solos cultivados com cana-de-açúcar na região Sudeste. Os estudos envolvendo a adição de fontes de N ao sistema de produção da cana indicam que a utilização de fontes de rápida liberação do N, como a uréia, leva ao aumento dos fluxos de N<sub>2</sub>O no sistema de produção da cana, e que este aumento ocorre de forma mais acentuada com a presença da palhada em superfície. Já na presença de fontes de N de liberação mais lenta (Crotalária), o aumento do fluxo de N<sub>2</sub>O é reduzido na presença da palhada, quando comparado aquele da área sem palha.

**Termos para indexação:** gás carbônico, metano, óxido nitroso, Tabuleiros Costeiros, adubos verdes, crotalária.

## Introdução

No Brasil, no ano de 2015, foram emitidos 1.368 Tg CO<sub>2</sub>eq, sendo a mudança de uso da terra, juntamente com as atividades agropecuárias e florestais responsáveis por 55% do total dessas emissões (Brasil 2017). De acordo com o terceiro Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (GEE), a agropecuária brasileira é responsável por 74,4% das emissões nacionais de CH<sub>4</sub>, sendo a principal emissão em razão da fermentação entérica dos ruminantes, e por 84,2% das emissões de N<sub>2</sub>O, as quais se devem em sua maioria (80,7%) aos solos agrícolas, em decorrência da deposição de excretas de animais, pela utilização de fertilizantes nitrogenados, adubos orgânicos, decomposição de resíduos culturais, e da mineralização da matéria orgânica. O inventário mostra que houve uma redução significativa das emissões nacionais de CO<sub>2</sub> pelo setor de mudança de uso do solo. Em 2005 esta categoria representava 83,4%, passando a 42%, em 2010.

Compromissos do Brasil para redução das emissões de GEE pela utilização de práticas mitigadoras na agropecuária nacional fazem com que a geração de informações sobre emissões e fatores de emissão para todas as regiões do país seja de grande importância para

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, bolsista CNPq, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL.

<sup>2</sup> Engenheira-agrônoma, graduada em Agronomia, Rio Largo, AL.

<sup>3</sup> Químico, mestre em Química, analista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL.

<sup>4</sup> Biólogo, doutor em Agronomia - Ciência do Solo, bolsista da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ.

<sup>5</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia e Solos, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL.

<sup>6</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia e Solos, pesquisadora da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL.

subsidiar o Inventário Nacional de Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, bem como alimentar modelos para prospecção de cenários futuros. Tais informações sobre as emissões de GEE e sobre os efeitos das práticas com potencial de mitigação das emissões na agropecuária brasileira foram obtidas, principalmente, nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste (Bayer et al., 2011). Para a região Nordeste, poucos dados foram gerados, sendo necessária a intensificação destas medições para a geração de informações mais completas para o país. Neste sentido, a cultura da cana-de-açúcar tem uma importante representatividade no cenário da agricultura da região, além de apresentar balanço de emissões promissor, principalmente por emissões evitadas. Estas são as emissões que ocorreriam se, na ausência do etanol e do bagaço excedente, a demanda de combustíveis fosse satisfeita por gasolina e óleo combustível. Porém, esses valores podem ainda ser melhorados se o sistema de produção da cana-de-açúcar for trabalhado no sentido de reduzir as emissões reais. Neste caso, preparo do solo e sistema de cultura devem ser implementados visando aumentar o estoque de carbono do solo, já que essas são as duas principais práticas agrícolas que causam impacto nos estoques de carbono (Bayer et al., 2011). Além disto, devem ser reduzidas as emissões relacionadas às fontes de emissão agrícolas como aquelas provenientes de uso de fertilizantes nitrogenados, uso de diesel em operações de máquinas, queima da cana, resíduos (vinhaça, torta de filtro) e calagem. Recentemente, a importância de se conhecer as emissões em cada prática agrícola nas áreas de cana foi reforçada pelo lançamento do *RenovaBio*, que é uma política de Estado que objetiva traçar uma estratégia conjunta para reconhecer o papel de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira, tanto para a segurança energética quanto para mitigação de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa.

O objetivo do presente trabalho é quantificar fluxos e emissões acumuladas de gases de efeito estufa sob diferentes sistemas de colheita da palhada da cana-de-açúcar e sob sistemas de adubação nitrogenada (adubo verde e fertilizante) em solos de Tabuleiros Costeiros.

## Material e Métodos

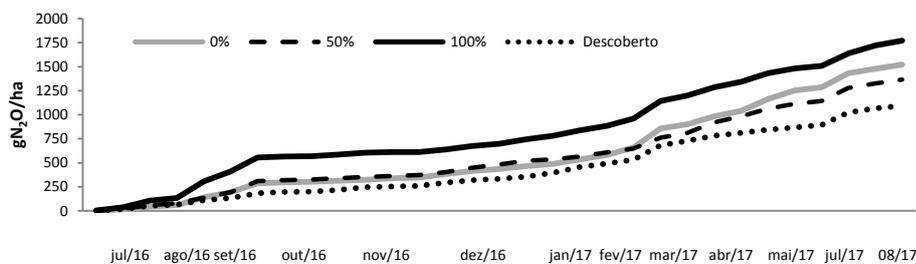
O trabalho foi conduzido em duas áreas experimentais. Uma área experimental localiza-se na Universidade Federal de Alagoas, no município de Rio Largo. O clima da região é tropical litorâneo úmido (As). O solo é classificado como Argissolo Amarelo e a declividade da área é de 8%. A cana-de-açúcar, variedade RB 92579, foi plantada em abril de 2014 e as coletas do experimento de GEE ocorreram para as socarias, nos anos de 2016 e 2017. Os tratamentos estudados foram: parcela descoberta, parcela com cana-de-açúcar cultivada e 0% da palhada deixada em superfície, 50% da palhada em superfície e 100% da palhada em superfície, o que equivaliu a: 0 Mg/ha, 7,5 Mg/ha e 15 Mg/ha de palhada em superfície, no ano da instalação. As 11 parcelas foram distribuídas no campo em blocos ao acaso, com 3 repetições para T0%, T50% e T100%, e 2 repetições para TDESC. No ano de 2018 foi conduzido o estudo adicional de avaliação das emissões com uso de fertilizante nitrogenado, nesta área experimental, com aplicação de doses de 100 Kg de N/ha, nas parcelas 0% e 100%. A outra área experimental pertence à Usina Coruripe e localiza-se no município de Coruripe, Alagoas. A temperatura média anual é de 27 °C, com média das máximas de 32 °C e das mínimas de 21 °C. A precipitação pluvial média anual é de 1500 mm. A área de estudo vem sendo cultivada com cana-de-açúcar colhida crua, e permanência de diferentes proporções de palhada sobre o solo, desde o ano de 2009. O solo desta área é classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso fragipânico e a variedade cultivada foi a RB 92 579. A instalação do segundo ciclo do experimento, com renovação do canavial, ocorreu no ano de 2016. O experimento em blocos ao acaso é composto por 4 blocos, com parcelas de 12 linhas de cana, com 10 metros de comprimento. Estas parcelas foram subdivididas em parcelas menores com 4 linhas de 10 metros de comprimento, nas quais se estabeleceram os seguintes tratamentos: 0% e 100% da palhada deixada em superfície do solo (0 Mg/ha e 15 Mg/ha), com e sem adubação verde com crotalaria *espectabilis*. A leguminosa foi plantada no dia 14 de junho de 2016 e o sulcamento da área para plantio da cana e acamamento da crotalaria na superfície do solo se deu em 21 de setembro de 2016, em seguida realizou-se o plantio da cana (3 de outubro de 2016). A adubação de fundação foi com 600 kg/ha da fórmula 9-25-20 e a adubação em cobertura com a aplicação de 90 kg de K<sub>2</sub>O, na forma de KCl. Houve suplementação hídrica com duas lâminas de 60 mm, aplicadas por ocasião do plantio e da adubação em cobertura. O corte da cana foi manual e o carregamento mecanizado.

Foram instaladas câmaras estáticas em cada parcela experimental para a amostragem das emissões de GEE, sendo posicionadas na entrelinha de plantio da cana-de-açúcar. Cada câmara era composta por uma base retangular de 55 cm x 35 cm de metal, inserida no solo até 5 cm de profundidade e tampa de plástico/metal, que foram vedadas lateralmente com água, durante as amostragens. As amostras foram coletadas com auxílio de seringas de polipropileno de 60 mL sendo os gases diretamente transferidos para tubo labco de 12 mL com tampa rosqueável de duplo septo, previamente submetidos a vácuo. Para as medições dos fluxos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram coletadas amostras de ar em quatro tempos: 0, 15, 30 e 45 minutos, para a área de Rio Largo e 0, 20 e 40 minutos, para a área de Coruripe. Os frascos com as amostras de ar foram enviados para análise no Laboratório da Embrapa Tabuleiros Costeiros, UEP-Rio Largo, AL, sendo analisadas por cromatografia, em um cromatógrafo equipado com um detector com captura de elétrons ECD (Electron Capture Detection) e um detector de ionização de chama (FID), para quantificar a concentração de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. A precipitação pluvial, temperatura e a umidade do solo foram aferidas por ocasião das amostragens. Os fluxos dos gases foram calculados pela equação:  $N_2O = \delta C / \delta t \times V / A \times M / V_m$  em que: o fluxo do gás é expresso em  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ ;  $\delta C / \delta t$  é a variação da concentração do gás, entre t<sub>0</sub> e t<sub>1</sub> (hora); V é o volume da câmara (m<sup>3</sup>); A é a área da câmara (m<sup>2</sup>); M é a massa atômica de N/C na molécula de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> ou CH<sub>4</sub> (mg); e V<sub>m</sub> é o volume molecular na temperatura de amostragem (dm<sup>3</sup>). Análises descritivas (média ± erro padrão da média) foram empregadas nos fluxos diários e totais dos gases.

## Resultados e Discussão

### Emissão de GEE x Manejo da palhada da cana-de-açúcar

Os fluxos de C-CO<sub>2</sub> variaram de valores negativos, em raras ocasiões, até 117.728,02 ug de C-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h. Tais valores foram semelhantes ao encontrados por Oliveira et al. (2013), para a região Sudeste (Piracicaba), porém ficaram abaixo que aqueles encontrados por Mello Ivo (2012), para solos de tabuleiro (50 mg e 300 mg de C-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h) e Carmo et al. (2012), na região de Piracicaba; indicando a necessidade de avaliação das condições ambientais e de manejo para melhor entendimento das diferenças encontradas. A partir destes fluxos, emissões acumuladas de CO<sub>2</sub> foram calculadas, indicando emissão de 13 Mg, 0 Mg; 20,6 Mg; 23,2 Mg e 25,5 Mg de CO<sub>2</sub>/ha para o solo DESCOBERTO, com 0%, 50% e 100% de palhada sobre a superfície, respectivamente, equivalendo à emissão de 3,5 Mg; 5,6 Mg; 6,2 Mg e 6,9 Mg de C-CO<sub>2</sub>/ha/ano, originárias da respiração autotrófica e heterotrófica do solo. Tais valores são semelhantes aos determinados por Carmo et al. (2012), indicando que mesmo com fluxos médios mais elevados, a frequência de ocorrência de fluxos mais ou menos intensos, poderá gerar em emissões acumuladas similares. Emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O geralmente aumentam com a aplicação da palhada. Em estudo com avaliação de diferentes níveis de palhada sobre a superfície do solo, Carmo et al. (2012) encontraram fluxos de N-N<sub>2</sub>O muito mais elevados que os do presente trabalho. No referido estudo, os fluxos nas parcelas dos tratamentos só foram significativamente maiores do que os das parcelas controle quando havia 14 Mg de palhada/ha ou mais sobre a superfície do solo, o que equivalia a manutenção de 75% e 100% da palhada. De forma similar, no presente estudo, as emissões acumuladas da área com 50% estiveram mais próximas do controle (Figura 1) e o tratamento com 100% da palhada apresentou os maiores valores, com emissão acumulada de 1.769,8 g de N<sub>2</sub>O/ha; valor este aproximadamente duas vezes menor que o encontrado no estudo de Carmo (2012). Os fluxos de CH<sub>4</sub> apresentaram-se negativos durante quase todo o ciclo nas parcelas com solo descoberto e, das 30 datas medidas, em apenas cinco datas houve emissão de CH<sub>4</sub> do solo, com os fluxos variando de -26,44 a + 12,97 ug de C-CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h.



**Figura 1.** Emissões acumuladas de N<sub>2</sub>O sob diferentes proporções de palhada de cana-de-açúcar deixadas na superfície do solo (0%, 50%, 100% e solo descoberto), em Rio, Largo, AL.

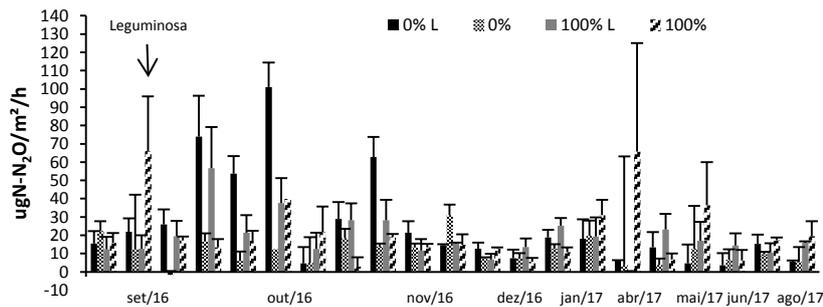
Da mesma forma, para o tratamento 0% de palhada, os fluxos foram negativos, havendo emissões sob este tratamento a partir do início das chuvas, no mês de março. Por outro lado, os fluxos nas parcelas com a presença da palhada em superfície apresentaram-se negativos em apenas cinco datas, tendo os mesmos variado de -12,79 a + 111,26 ug C-CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h, com metade da palhada sobre a superfície e -8,42 a + 156,49 ug de C-CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/h, para os 100%. As maiores taxas de elevação das emissões acumuladas de metano aconteceram no período de maio a agosto, quando ocorreram elevados volumes de chuva na região dos Tabuleiros de Alagoas (1.839 mm), estabelecendo, possivelmente, condições de anaerobiose no solo, indicada pelos maiores níveis de umidade detectados sob estes tratamentos. Diferentemente da falta de padrão na emissão de metano, para os diferentes níveis de palhada sobre o solo, encontrado por Carmo et al. (2012), o presente estudo mostrou que em anos muito chuvosos, os solos de Tabuleiros podem se apresentar como emissores de CH<sub>4</sub>, chegando a valores variando de 1.958,0 g a 15.110,9 g CH<sub>4</sub>/ha/ano.

### Emissão de GEE X adubo verde e fertilização nitrogenada

Como a produção de N<sub>2</sub>O pela nitrificação ou desnitrificação depende do N disponível no solo, a aplicação de fertilizante e resíduos é um controlador importante das emissões de N<sub>2</sub>O. De acordo com Alves et al. (2012), as emissões de N<sub>2</sub>O também tem forte relação com a umidade do solo ou o seu grau de saturação de água e com a temperatura, uma vez que para muitos processos biológicos observam-se valores de Q<sub>10</sub> da ordem de 2 a 3. Ainda segundo estes autores, quando a disponibilidade de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup> é alta, o carbono orgânico é o fator limitante às reações de desnitrificação. Assim, a prática de utilização de adubos verdes em rotação com a cana-de-açúcar deverá aumentar as emissões de GEE. Porém, de acordo com Bayer et al. (2011), uma forma de reduzir emissões de N<sub>2</sub>O para a atmosfera pode ser a substituição parcial da adubação nitrogenada pela utilização de leguminosas, uma vez que a liberação mais lenta do N contido no resíduo vegetal, comparativamente com o N inorgânico, provavelmente permite que o N mineral seja gradativamente absorvido pelas plantas em desenvolvimento, reduzindo, assim, o potencial de emissão de N<sub>2</sub>O.

Imediatamente após o acamamento da crotalaria, usada em rotação com a cana, no município de Coruripe, o fluxo de C-CO<sub>2</sub> aumentou nas parcelas com 0% e 100%, por um período de até 16 dias após esta operação. Da mesma forma, o fluxo de N-N<sub>2</sub>O elevou-se, mas esta elevação só iniciou no sexto dia após a incorporação da leguminosa ao sistema de produção, tempo este necessário para que o início do processo de mineralização e disponibilização do nitrogênio na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ocorresse,

estendendo-se a ocorrência de fluxos mais elevados por um período de 45 dias. Em estudo sobre quantificação de emissões de óxido nitroso em áreas de rotação com culturas de cobertura, Gomes et al. (2009) também observaram maiores emissões em um curto período de 45 dias após o manejo das plantas de cobertura. Os valores dos fluxos determinados por estes autores variaram 10 a 120  $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}$ , na presença de ervilhaca, e até 165  $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}$  sob guandu, situando-se próximo aos determinados no presente estudo. Após a adição do adubo verde, os fluxos nas parcelas com a manutenção dos resíduos em superfície foram menores que aqueles das parcelas sem a presença da palhada, indicando que pode ter havido imobilização temporária do nitrogênio nas áreas com 100% dos resíduos, diminuindo, assim, a intensidade dos fluxos iniciais sob esta condição. O que reforça a idéia da ocorrência de liberação mais lenta do N contido no resíduo vegetal sob este tratamento. Os fluxos de C-CH<sub>4</sub> nesta área apresentaram-se bastante variáveis, não possibilitando visualização de nenhuma tendência. No ano de 2018 foi conduzido o estudo de avaliação das emissões com uso de fertilizante nitrogenado, na área de Rio Largo. Dados iniciais mostram que uso de fertilizante nitrogenado, aliado à cobertura dos resíduos culturais, resultou em maiores emissões de N<sub>2</sub>O do solo para a atmosfera, como constatado por outros estudos (Lopes et al., 2017; Carmo et al., 2012).



**Figura 2.** Fluxos de N<sub>2</sub>O após o acamamento de crotalária espectábilis, utilizada em rotação com cana-de-açúcar, em parcelas com 0% e 100% de palhada deixada na superfície de um Argissolo Amarelo, em Coruripe (AL). As barras representam o erro padrão da média.

De acordo com estes autores, estudos comprovam que as maiores emissões de N<sub>2</sub>O do solo se concentram após a fertilização nitrogenada, nos períodos de maior precipitação; e, quando os solos não apresentam condições limitantes de disponibilidade de N e o espaço poroso saturado por água é maior que 60%, ocorre o predomínio do processo de desnitrificação. No presente estudo, aplicação de fertilizante nitrogenado na forma de uréia, em um Argissolo Amarelo, alterou os fluxos de N-N<sub>2</sub>O, elevando os mesmos, os quais variaram de -8,37 a 52,39  $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}$  sob o tratamento 0% e de -8,37 a 143,60  $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}$  em 0% + uréia. Nas parcelas com a palhada em superfície, a variação foi de 11,04 a 43,19  $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}$  em 100% e 10,91 a 573,0  $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}$  em 100% + uréia.

## Conclusões

- A manutenção da palhada da cana-de-açúcar sobre a superfície do solo favorece maiores emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>.
- Para os anos avaliados, os fluxos de N<sub>2</sub>O são menores que aqueles dos solos cultivados com cana-de-açúcar na região Sudeste.
- Os estudos envolvendo a adição de fontes de N ao sistema de produção da cana indicam que a utilização de fontes de rápida liberação do N, como a uréia, leva ao aumento dos fluxos de N<sub>2</sub>O no sistema de produção da cana, e que este aumento ocorre de forma mais acentuada com a presença da palhada em superfície. Já na presença de fontes de N de liberação mais lenta (Crotalária), o aumento do fluxo de N<sub>2</sub>O é reduzido na presença da palhada, quando comparado aquele da área sem palha.

## Referências

ALVES, B. J. R., CARVALHO, A. M. de; JANTALIA, C. P.; MADARI, E. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F. dos; SANTOS, H. P. dos; CARVALHO, C. J. R. de. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico dos solos em sistemas agrícolas. In: LIMA, M. A. BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 159-192, 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissão de gases de efeito estufa no Brasil. 4ª ed. **Ministério da ciência e inovação**, 2017.

BAYER, C. AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. P.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. da S.; CARVALHO, P. C. de F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In. FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.55-118, 2011.

CARMO, J. B., FILOSO, S.; ZOTELLI, L. C.; SOUSA NETO, E. R. de; PITOMBO, L. M.; DUARTE NETO, P. J.; VARGAS, V. P.; ANDRADE, C. A.; GAVA, G. J. C.; ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; E NETO, A.; MARTINELLI, L. A. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. **CGB Bioenergy**, v. 5, p. 267-280, 2012.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. de S.; PICCOLO, M. de C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 36-44, Dec. 2009.

LOPES, I. M.; PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; CAMPOS, D. V. B. de; ALVES, B. J. R. Emissões de N<sub>2</sub>O em solos sob cultivo de cana-de-açúcar no Bioma Mata Atlântica: efeito dos sistemas de colheita e da adubação com vinhaça. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 5, p. 1930-1943, set./out. 2017.

OLIVEIRA, B. G.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B.J. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. **Geoderma**, v. 200-201, p.77-84, 2013.