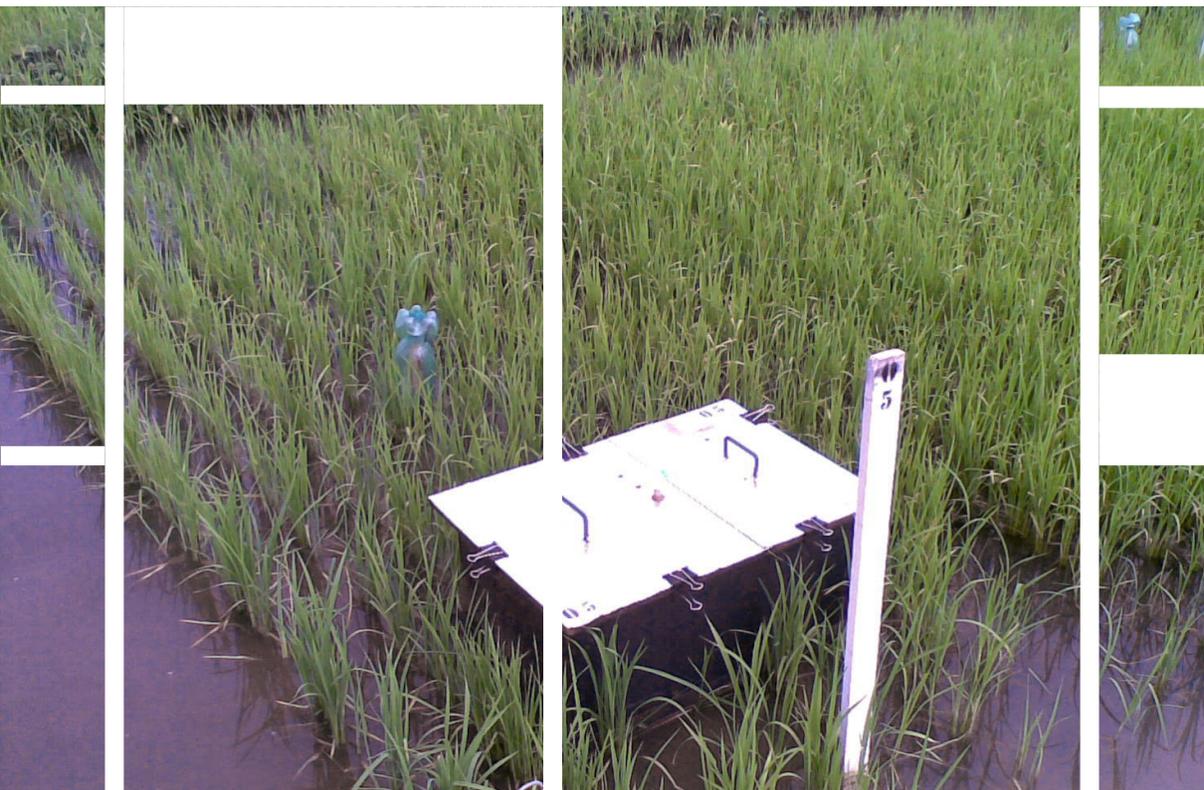


Impacto do Manejo da Adubação Nitrogenada sobre a Emissão de Gás de Efeito Estufa Óxido Nitroso e a Produtividade de Arroz Irrigado no Cerrado



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
52**

**Impacto do Manejo da Adubação
Nitrogenada sobre a Emissão de Gás
de Efeito Estufa Óxido Nitroso e a
Produtividade de Arroz Irrigado no Cerrado**

*Glaucilene Duarte Carvalho
Beáta Emöke Madari
Márcia Thaís de Melo Carvalho
Mellissa Ananias Soler da Silva
Alberto Baêta dos Santos
Adriana Rodolfo da Costa
Rúbia Santos Corrêa
Janaína de Moura Oliveira
Wesley Gabriel de Oliveira Leal
Diego Mendes de Souza
Ivã Matsushige
Roberto Carlos Gomes dos Santos*

**Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2018**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações

Presidente
Lineu Alberto Domiti

Secretário-Executivo
Pedro Marques da Silveira

Membros
Alúísio Goulart Silva, Ana Lúcia Delalibera de Faria, Elcio Perpétuo Guimarães, Luciene Frôes Camarano de Oliveira, Luís Fernando Stone, Márcia Gonzaga de Castro Oliveira, Roselene de Queiroz Chaves

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia D. de Faria

Tratamento das ilustrações
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Foto da capa
Beáta Emöke Madari

1ª edição
On-line (2018)

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Impacto do manejo da adubação nitrogenada sobre a emissão de gás de efeito estufa óxido nitroso e a produtividade de arroz irrigado no Cerrado / Glaucilene Duarte Carvalho ...[et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2018.
23 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 52)

1. Arroz irrigado - Cerrado – Nitrogênio. 2. Arroz irrigado – Cerrado – Clorofilômetro. 3. Arroz irrigado – Cerrado – Fator de emissão. I. Carvalho, Glaucilene Duarte. II. Embrapa Arroz e Feijão. III. Série.

CDD 633.1889473

© Embrapa, 2018

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	9
Área experimental e tratamentos	9
Determinação da quantidade de óxido nitroso emitido do solo cultivado com arroz irrigado.....	11
Determinação da quantidade de amônia volatilizada do solo cultivado com arroz irrigado.....	14
Produtividade de grãos, nitrogênio no tecido vegetal e eficiência de uso do nitrogênio.....	15
Análise estatística.....	16
Resultados e Discussão	16
Conclusões.....	20
Referências	21

Impacto do Manejo da Adubação Nitrogenada sobre a Emissão de Gás de Efeito Estufa Óxido Nitroso e a Produtividade de Arroz Irrigado no Cerrado

Glaucilene Duarte Carvalho¹

Beáta Emöke Madari²

Márcia Thaís de Melo Carvalho³

Mellissa Ananias Soler da Silva⁴

Alberto Baêta dos Santos⁵

Adriana Rodolfo da Costa⁶

Rúbia Santos Corrêa⁷

Janaína de Moura Oliveira⁸

Wesley Gabriel de Oliveira Leal⁹

Diego Mendes de Souza¹⁰

Ivã Matsushige¹¹

Roberto Carlos Gomes dos Santos¹²

Resumo - A falta de sincronismo entre a época de aplicação de nitrogênio (N) e a de maior demanda da planta resulta em baixa eficiência de recuperação do N pela cultura do arroz irrigado, principalmente devido às perdas desse elemento. O objetivo deste estudo foi estimar a perda de N na forma de óxido

¹ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, analista da Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos do Estado de Goiás, Goiânia, GO.

² Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

³ Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Produção Ecológica e Conservação de Recursos, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁴ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁶ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, professora da Universidade Estadual de Goiás - Campus Santa Helena de Goiás, Santa Helena de Goiás, GO.

⁷ Engenheira-agrônoma, doutoranda em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

⁸ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, professora adjunta da Faculdade Metropolitana de Anápolis, Anápolis, GO.

⁹ Químico, mestre em Química Analítica, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

¹⁰ Químico industrial, mestre em Química, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

¹¹ Químico, mestre em Química, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

¹² Tecnólogo em Química Industrial, técnico da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

nitroso (N_2O) e de amônia (NH_3) em sistema de produção de arroz irrigado em várzea tropical, no Cerrado. O experimento foi conduzido em Gleissolo, durante as safras de verão 2011/2012 (S1), 2012/2013 (S2) e na entressafra. A cultivar utilizada foi a BRS Tropical. O experimento consistiu em três tratamentos: (T0) testemunha (sem N); (T1) aplicação da dose recomendada de 90 kg ha^{-1} de N a lanço em cobertura; e (T2) aplicação de 75 kg ha^{-1} de N a lanço em cobertura, baseada no uso do clorofilômetro Minolta SPAD-502. Além da adubação de cobertura, foram aplicados 20 kg ha^{-1} de N no sulco de plantio em T1 e T2. Os fluxos dos gases N_2O e NH_3 foram quantificados utilizando câmaras estáticas manuais ao longo das safras e da entressafra. A maior perda gasosa total de N ($N-N_2O+N-NH_3$) ocorreu no período anterior à inundação do sistema de produção. O manejo do N utilizando clorofilômetro foi o mais eficiente em reduzir perdas do elemento na forma de NH_3 , mantendo a produtividade de grãos. Em geral, o fator de emissão de N_2O da adubação nitrogenada foi baixo (0,3%) em relação ao valor médio preconizado pelo IPCC.

Termos para indexação: Óxido nitroso, amônia, clorofilômetro, fator de emissão, intensidade de emissão, várzea, Cerrado.

Impact of N Fertilizer Management on Nitrous Oxide Emission and Grain Yield of Irrigated Rice in the Brazilian Savannah

Abstract - The lack of synchronism (timing) between nitrogen (N) application and plant demand results in low recovery efficiency of N in irrigated rice cropping systems, mainly due to N losses. Our aim was to assess loss of N as nitrous oxide (N_2O) and ammonia (NH_3) in irrigated rice production system in the Brazilian Savannah (Cerrado). The experiment was conducted in a Gleysol along the summer growing seasons in 2011/2012 (S1) and 2012/2013 (S2), and in the off season in between. The cultivar used was BRS Tropical. The experiment consisted of three treatments: (T0) control (without N); (T1) application of the recommended dose of 90 kg ha^{-1} N as urea via topdressing, and (T2) application of urea via topdressing based on the use of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter. Apart of the N applied via topdressing, 20 kg ha^{-1} , was applied at planting in T1 and T2. Fluxes of N_2O and NH_3 were quantified using manual static chambers throughout the growing (S1 and S2) and off seasons (between S1 and S2). The largest total gaseous loss of N ($N-N_2O + N-NH_3$) occurred along the period between planting and the flooding of the cropping system. The management of N fertilizer using chlorophyll meter was more efficient in reducing losses of N in the form of NH_3 , maintaining the rice grain yield. In general, the N_2O emission factor of nitrogen fertilization was low (0.3%) in relation to the average value recommended by the IPCC.

Index terms: Nitrous oxide, ammonia, chlorophyll meter, emission factor, emission intensity, floodplain, neotropical Savannah.

Introdução

O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando uma área de aproximadamente 168 milhões de hectares, com uma produção em torno de 662 milhões de toneladas de grãos em casca, o que corresponde a 29% das calorias consumidas pela população mundial (Reunião..., 2016). No cultivo de arroz irrigado, as condições ambientais mais favoráveis para o crescimento da planta e a aplicação de fertilizantes podem garantir alta produtividade (Fageria et al., 1997). Entretanto, a falta de sincronismo entre a época de aplicação do nitrogênio sintético e a época de maior demanda da planta proporciona uma baixa eficiência de recuperação do fertilizante. Estima-se uma eficiência entre 32% e 49% do N aplicado na cultura do arroz irrigado em solos de várzea do Brasil Central (Fageria; Baligar, 2001). Essa baixa eficiência ocorre, principalmente, devido às perdas por lixiviação de nitrato (NO_3^-), volatilização de amônia (NH_3), nitrificação e desnitrificação (Fageria et al., 2003). Em solos agrícolas, a nitrificação e a desnitrificação são os principais processos microbianos responsáveis pela produção de óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa (GEE) (Firestone; Davidson, 1989). Segundo Bustamante et al. (2014), particular atenção deve ser dada às emissões de N_2O devido ao seu alto potencial de aquecimento global (PAG), que é 310 vezes superior ao PAG do dióxido de carbono (CO_2) numa escala de 100 anos de permanência na atmosfera.

Mundialmente, estima-se que o setor agropecuário seja responsável por, aproximadamente, 80% das emissões de N_2O (Solomon et al., 2007). No Brasil, estima-se que mais de 93% das emissões de N_2O sejam oriundas de atividades agrícolas (Brasil, 2014). Entre as práticas agrícolas com maior efeito sobre a emissão de N_2O está a fertilização nitrogenada (Metz et al., 2005). A amônia (NH_3) não é um gás de efeito estufa, mas pode ser depositada na atmosfera e retornar ao solo, alimentando os ciclos de nitrificação e desnitrificação, resultando na emissão indireta de N_2O .

A cultura do arroz é responsável por cerca de 2% das emissões totais de GEE do setor agropecuário no Brasil, principalmente N_2O e metano (CH_4) (Brasil, 2014). Na região Sul, mais de 90% das emissões se dão na forma de (CH_4) em lavouras de arroz irrigado por inundação contínua, independentemente do manejo da adubação nitrogenada, entretanto, o uso de alternativas

à inundação contínua com o manejo da água pode diminuir drasticamente a emissão do CH_4 (Scivittaro et al., 2014, 2015). Nesses casos, o manejo da adubação nitrogenada poderá diminuir ainda mais a emissão global de GEE da cultura do arroz irrigado, devido à redução das emissões de N_2O (Veçozzi et al., 2017). É relativamente ampla a quantidade de informação sobre os fatores que afetam a emissão de GEE em arroz irrigado de regiões subtropicais e de clima temperado (Kirk, 2004; Jiang et al., 2006; Huang et al., 2007; Ahmad et al., 2009; Liu et al., 2010; Zhou et al., 2014; Zhang et al., 2015) incluindo a região Sul do Brasil (Zschornack et al., 2011; Souza, 2013; Bayer et al., 2014). Contudo, há uma lacuna de informação sobre a emissão de GEE em arroz irrigado nas várzeas tropicais do Brasil. Em 2016 a produção de arroz em sistema irrigado tropical foi 8% da produção nacional e 9% do total produzido em sistema irrigado (Embrapa Arroz e Feijão, 2017). É necessário, portanto, levantar informações para compreender os processos e principais fatores envolvidos na emissão de GEE oriundo do manejo agrônômico de arroz irrigado em ambientes tropicais no Brasil.

A perda de N aplicado representa, além do impacto ambiental, um impacto econômico importante. Por isso, este estudo teve como foco o impacto do sistema de produção de arroz irrigado tropical sobre as perdas de N na forma de N_2O e NH_3 relacionadas ao manejo da adubação nitrogenada.

Material e Métodos

Área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido na Fazenda Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no Município de Goianira, GO. O solo cultivado foi classificado como Gleissolo (41% de argila e 33% de areia) em ecossistema de várzea do Rio Meia Ponte. As avaliações foram realizadas nas safras de verão 2011/2012 (S1, 134 dias) e 2012/2013 (S2, 146 dias) e na entressafra (214 dias) em 2012. A crotalária (*Crotalaria juncea* L.) foi cultivada como planta de cobertura na entressafra entre agosto e outubro de 2012. A cultivar de arroz utilizada foi a BRS Tropical, semeada em linhas no solo não inundado, com 80 sementes por metro e espaçamento entre linhas de 0,17 m. O delinea-

mento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas de 23 m², incluindo parcelas referência.

Todos os tratamentos, exceto a testemunha (T0), receberam 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, via formulação 5-30-15 (N-P-K), no sulco de semeadura. No T0 foi aplicada quantidade equivalente de P e K, nas formas de superfosfato triplo e cloreto de potássio, em cobertura. O experimento consistiu de três tratamentos: (T0) testemunha sem N; (T1) aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia em cobertura, que corresponde ao tratamento recomendado para a cultivar utilizada; e (T2) aplicação de ureia em cobertura com base nas leituras do clorofilômetro Minolta SPAD-502.

Parcelas referência (REF) foram utilizadas como base para a determinação do índice de suficiência de N (ISN), a partir das medidas com o clorofilômetro, sendo que em valores de ISN <90% da REF, 30 kg de N foram aplicados no T2; com valores de ISN entre 90% e 95% da REF, 15 kg de N foram aplicados no T2; com valores de ISN >95% da REF, não se aplicou N. A REF recebeu o dobro da dose de N recomendada em cobertura, ou seja, 180 kg na forma de ureia, divididos aos 13, 20 e 27 dias após a emergência (DAE).

As aplicações de N em cobertura, na forma de ureia, foram adicionais ao N aplicado na semeadura. Em T1 foram aplicados 90 kg ha⁻¹, divididos em quantias iguais, aos 52 e 70 DAE em S1; e 49 e 72 DAE em S2. Em T2 foram aplicados no total, 75 kg ha⁻¹, parcelados conforme o ISN, aos 32, 46 e 53 DAE, em S1; e aos 31, 42 e 56 DAE, em S2. A REF recebeu adubações de cobertura antes da inundação, sendo a terceira cobertura realizada em solo úmido (saturado), após chuvas, tanto em S1 quanto em S2. A adubação de cobertura em T1 e T2 foi realizada sempre após a inundação das parcelas, com exceção da primeira cobertura em T2, na safra S1, quando a cobertura foi realizada em solo úmido (saturado), após chuva. O solo das parcelas foi inundado com uma lâmina de água de aproximadamente 15 cm aos 30 e 27 DAE em S1 e S2, respectivamente.

Determinação da quantidade de óxido nitroso emitido do solo cultivado com arroz irrigado

A amostragem de N_2O foi realizada utilizando o método da câmara estática manual, adaptado de Mosier (1989) e Alves et al. (2017). A câmara utilizada foi do tipo base-tampa, confeccionada com aço galvanizado (0,40 m largura x 0,60 m comprimento x 0,15 m altura). Extensores de 0,25 m de altura, inseridos entre a tampa e a base do sistema coletor, foram utilizados à medida que as plantas de arroz cresciam (Figura 1). Na tampa foi inserido um tubo de respiro de 0,10 m de comprimento e 6 mm de diâmetro para eliminar os gradientes de pressão interna da câmara, conforme descrito em Hutchinson e Mosier (1981).



Fotos: Glaucilene Duarte Carvalho

Figura 1. Câmaras de coleta de N_2O instaladas em área experimental de sistema de produção de arroz irrigado tropical em área de várzea, na Fazenda Palmital, Goianira, GO.

No topo da câmara foram instaladas conexões para transferir o gás do seu interior para frascos de vidro de 20 mL lacrados com septo cloro-butílic. No momento da coleta, um vácuo de -70 kPa foi feito em cada frasco com o auxílio de uma bomba manual. Cerca de 30 mL de ar foram coletados em cada frasco, para posterior análise em cromatografia gasosa. A concentração de N_2O no tempo zero foi representada por amostras de ar da atmosfera na área do experimento. As coletas de ar dentro de cada câmara estática foram realizadas aos 10 min, 20 min e 30 min após o fechamento das câmaras. As amostras de gás foram coletadas sempre no intervalo entre 9h e 10h para garantir a menor variabilidade possível entre coletas e por ser este um horário representativo da média diária da emissão de N_2O do solo

(Jantalia et al., 2008; Alves et al., 2012; Corrêa, 2014). Simultaneamente à coleta de N_2O , foi realizada a leitura da temperatura do solo, com o auxílio de termômetro digital portátil. A concentração de N_2O foi determinada em laboratório, utilizando cromatógrafo de gás Perkin Elmer Auto System XL, equipado com coluna empacotada contendo “Porapak Q” a $65\text{ }^\circ\text{C}$ e detector de captura de elétrons $63Ni$ (ECD) a $375\text{ }^\circ\text{C}$. Os gases de arraste, argônio (95%) e metano (5%), denominados mistura P5, fluem através de sistema sob pressão a $17,6\text{ mL min}^{-1}$. Para a calibração do cromatógrafo foram utilizados padrões primários de N_2O nas concentrações de 350 ppbv e 1000 ppbv (parte por bilhão na base de volume).

Os fluxos de N_2O podem apresentar comportamento não linear devido às condições ambientais no momento da coleta (Parkin; Venterea, 2010). Segundo Hutchinson e Mosier (1981) a aplicação de regressão linear para os dados pode levar a subestimação dos fluxos. Diante disso, Hutchinson e Mosier (1981) propuseram um algoritmo como alternativa à análise de regressão linear [função HM, Equação 1]:

$$F = (C1 - C0)^2 / [t1 \times (2 \times C1 - C2 - C0)] \times \ln[(C1 - C0)/(C2 - C1)] \quad [\text{Equação 1}],$$

onde F é o fluxo de N_2O ($\mu\text{L L}^{-1}\text{ h}^{-1}$); $C0$, $C1$, e $C2$ são as concentrações de N_2O na câmara, medidas nos tempos 0, 1 e 2, respectivamente; e $t1$ é o intervalo em horas entre os tempos de amostragem.

Para uma amostragem com quatro pontos no tempo (0, 1, 2, 3), como neste estudo, utilizou-se a adaptação da Equação HM (Hutchinson; Mosier, 1981) como proposto por Parkin et al. (2012) [Equação 2]:

$$F = (CA_{1,2} - C0)^2 / [tA_{1,2} \times (2 \times CA_{1,2} - C3 - C0)] \times \ln[(CA_{1,2} - C0)/(C3 - CA_{1,2})] \quad [\text{Equação 2}],$$

onde F é o fluxo de N_2O ($\mu\text{L L}^{-1}\text{ h}^{-1}$); $C0$ é a concentração de N_2O na câmara, medida no tempo 0; $CA_{1,2}$ é a média das concentrações de N_2O na câmara, medida nos tempos 1 e 2; $C3$ é a concentração de N_2O na câmara, medida no tempo 3; $tA_{1,2}$ é o intervalo correspondente da média dos tempos de amostragem 1 e 2, em horas.

A função HM [Equação 1] nem sempre é aplicável para estimar o fluxo de N_2O (Parkin; Venterea, 2010). Para utilizar essa função deve-se levar em conta que as amostragens de N_2O tenham sido realizadas em, no mínimo, três tempos, e que o intervalo de amostragem entre os mesmos seja igual (Hutchinson; Mosier, 1981). Outra condição para a aplicação da Equação 1 é

que a razão $[(C1-C0)/(C2-C1)]$ seja >1 e que haja um adequado fluxo aparente $(C2-C0)/Td$, em que Td é o tempo de incubação da medição, entre o início e o final da amostragem na câmara, que deve ser superior a zero. Portanto, a função HM não se aplica aos influxos (fluxos negativos).

Quando a função HM [Equação 1] não foi aplicável, utilizou-se o modelo linear para calcular a variação da concentração de N_2O em função do tempo $(\Delta C/\Delta t)$ dentro de cada câmara estática, sempre que o coeficiente de determinação (R^2) foi superior a 0,60. Quando contrário, o dado foi considerado faltoso.

O fluxo para cada câmara estática foi obtido multiplicando-se a concentração de N_2O dentro do intervalo de meia hora pelo volume da câmara (L), dividido pela área de solo coberta pela câmara de amostragem. Enfim, o fluxo de N_2O foi convertido de unidade volumétrica ($\mu L m^{-2} h^{-1}$) para unidade de massa ($\mu g m^{-2} h^{-1}$) por meio da lei de gases ideais ou Lei de Avogadro, a qual preconiza que todo o gás ocupa o mesmo volume ($22,4 L mol^{-1}$) sob condições constantes de temperatura e pressão [Equação 3]. A massa de N no gás N_2O foi calculada considerando a massa atômica do N ($14 g mol^{-1}$) e a temperatura do solo ($^{\circ}C$) no momento da coleta.

$$PV = nRT \quad \text{[Equação 3],}$$

onde P é a pressão (atm); V é o volume da câmara (L); n é o número de mols do gás (μmol); R é a constante da lei de gases ideais; e T é a temperatura em Kelvin (K).

A emissão total de N_2O foi calculada a partir da integração dos fluxos diários de N_2O ao longo do período de avaliação, considerando apenas os fluxos positivos. Os fluxos negativos foram considerados zero para a atmosfera. O fator de emissão (FE_{N_2O}) devido à aplicação de fertilizante nitrogenado foi calculado como a proporção de N- N_2O emitido no período da avaliação em relação ao total de N sintético aplicado [Equação 4].

$$FE_{N_2O} (\%) = ((N-N_2O_{\text{tratamento}} - N-N_2O_{\text{testemunha}})/N \text{ aplicado no tratamento}) * 100 \quad \text{[Equação 4],}$$

onde FE_{N_2O} é o fator de emissão de óxido nitroso; $N-N_2O_{\text{tratamento}}$ é o nitrogênio emitido do solo na forma de óxido nitroso com adubação nitrogenada ($kg ha^{-1}$); $N-N_2O_{\text{testemunha}}$ é o nitrogênio emitido do solo na forma de óxido nitroso sem adubação nitrogenada ($kg ha^{-1}$).

Determinação da quantidade de amônia volatilizada do solo cultivado com arroz irrigado

A amônia volatilizada foi quantificada por meio de um sistema semiaberto, proposto por Nömmik (1973), adaptado por Araújo et al. (2009) e Jantalia et al. (2012). O sistema consistiu em uma câmara estática, confeccionada a partir de um frasco plástico transparente tipo PET de 2 L. O diâmetro da câmara foi de 0,10 m, cobrindo uma área de 0,008 m² sobre o solo. No interior da câmara foi instalado um sistema de captura de amônia volatilizada, composto por um frasco suspenso com o auxílio de um arame de aço inoxidável contendo 40 mL de solução captura de H₂SO₄ mol dm⁻³ e glicerina 2%. A partir do frasco foi estendida uma lâmina de espuma de polietileno com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida com a solução de captura. A base da garrafa PET foi cortada e utilizada de forma invertida na extremidade superior da garrafa, suspensa por uma espiral de arame, evitando a entrada de água da chuva ou de irrigação pelo orifício original da garrafa PET, onde foi introduzida uma estaca de sustentação (Figura 2). No período que o solo esteve sob inundação, a base da câmara foi disposta sobre a superfície da lâmina de água (Figura 2).

Fotos: Glaucilene Duarte Carvalho



Figura 2. Câmaras coletoras para captura de amônia volatilizada.

Dois câmaras coletoras foram instaladas em cada parcela experimental. A amostragem de NH_3 (troca da solução de captura) foi realizada diariamente durante os primeiros sete dias após a adubação nitrogenada e, após este período, a mesma frequência utilizada para a amostragem de N_2O , geralmente semanal. A volatilização acumulada foi calculada como a soma das amostragens individuais durante as safras e entressafra, separadamente. A quantificação do N amoniacal presente na solução captura foi realizada em laboratório. Primeiramente, 30 mL de água destilada foram utilizados para a lavagem da lâmina de espuma de cada frasco, depois cada frasco foi vedado e submetido a um agitador horizontal a 220 RPM, por 15 minutos. Em seguida, a espuma de cada frasco foi espremida para expelir toda a solução e descartada. A solução de cada frasco foi transferida para um tubo de digestão para destilação e posterior titulação com ácido clorídrico (HCl $0,003 \text{ mol dm}^{-3}$). O N amoniacal foi calculado a partir do volume de ácido clorídrico gasto na titulação [Equação 5].

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg)} = (\text{Va}-\text{Vb}) \times \text{Nac} \times \text{MAN} \quad \text{[Equação 5]},$$

onde Va é o volume de ácido gasto na titulação da amostra; Vb é o volume de ácido gasto na titulação do branco (solução de captura original), Nac é a normalidade do ácido, e MAN é a massa atômica do nitrogênio. Os resultados foram corrigidos de acordo com a equação de eficiência do sistema de captura proposto por Araújo et al. (2009) [Equação 6].

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg m}^{-2}\text{)} = [(\text{N amoniacal}/0,008) \times 1,74] \quad \text{[Equação 6]},$$

onde 1,74 é o fator de correção para estimar a volatilização efetiva e 0,008 é a área coberta por cada câmara, em m^2 .

Produtividade de grãos, nitrogênio no tecido vegetal e eficiência de uso do nitrogênio

A produtividade de grãos foi determinada no momento da colheita, quando as plantas atingiram o estágio de maturação fisiológica. A parte aérea (folhas e colmos) foi levada à estufa a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas para a determinação da massa da matéria seca total. Após a secagem e a pesagem, o tecido vegetal foi triturado em moinho para a determinação do teor de N, pelo método Kjeldahl. O teor de N no tecido vegetal foi determinado separadamente para folhas, colmos e grãos. A eficiência de recuperação do N foi calculada de acordo com Fageria e Barbosa Filho (1982) [Equação 7].

$$ER \text{ (kg kg}^{-1}\text{)} = (\text{ACNcf} - \text{ACNsf}) / \text{QN} \quad [\text{Equação 7}],$$

onde ER é a eficiência de recuperação; ACNcf é a acumulação de N no tecido vegetal com adubação nitrogenada; ACNsf é a acumulação de N no tecido vegetal sem adubação nitrogenada; e QN é o total de N aplicado.

A intensidade de emissão de N_2O e de NH_3 foi calculada com base na produtividade de grãos do arroz e a emissão total de N_2O ou NH_3 ao longo de todo o período avaliado [Equação 8].

$$I = \text{N}/\text{produtividade de grãos} \quad [\text{Equação 8}],$$

em que I é a intensidade de emissão ($\text{g N-N}_2\text{O}$ ou $\text{g N-NH}_3 \text{ kg}^{-1}$ grão produzido); e $\text{N-N}_2\text{O}$ é o N emitido na forma de N_2O ou NH_3 (g ha^{-1}). A produtividade de grãos é expressa em kg ha^{-1} .

Análise estatística

Os efeitos principais foram separados pelo teste de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, com probabilidade $\leq 5\%$. O programa Assistat foi utilizado para realizar as análises.

Resultados e Discussão

A emissão total de N_2O não foi significativamente diferente entre os tratamentos e as safras avaliadas (Tabela 1). A ordem de magnitude da emissão total de N_2O na safra S1 foi $\text{T0} < \text{T1} < \text{T2}$, na entressafra foi $\text{T1} < \text{T2} < \text{T0}$ e na safra S2 foi $\text{T2} < \text{T1} < \text{T0}$. Para a intensidade de emissão de N_2O , que leva em consideração a emissão total de N_2O e a produtividade de grãos de arroz ao longo de todo o período avaliado, a ordem de magnitude foi $\text{T0} > \text{T1} > \text{T2}$. A tendência observada mostra que o tratamento T2 foi aquele com a menor intensidade de emissão, ou seja, em que menos N_2O foi emitido para cada kg de grão produzido. A maior intensidade de emissão em T0 está relacionada à menor produtividade nesse tratamento (Tabela 2). Porém, diferenças significativas para a emissão total de N_2O e a intensidade de emissão de N_2O não foram observadas entre os tratamentos.

Tabela 1. Emissão total de N-N₂O e intensidade de emissão (quantidade de N-N₂O emitido por kg de grão produzido) nos tratamentos com diferentes doses e manejos de nitrogênio em sistema de produção de arroz irrigado tropical, nas safras S1 (2011/2012), S2 (2012/2013) e entressafra.

Tratamentos	S1	Entressafra	S2	Intensidade de emissão (gN-N ₂ O kg ⁻¹)
	----- (kg ha ⁻¹) -----			
T0	1,08 ± 0,18	1,30 ± 0,39	1,78 ± 0,49	0,67
T1	1,30 ± 0,35	0,62 ± 0,12	1,11 ± 0,44	0,34
T2	1,37 ± 0,30	0,73 ± 0,27	0,88 ± 0,15	0,30
Média	1,25	0,88	1,26	0,44

Não houve diferença significativa entre os tratamentos e as safras avaliadas, a 5% de probabilidade pelo teste F. T0: 0 kg ha⁻¹; T1: 110 kg ha⁻¹; T2: 95 kg ha⁻¹ (manejo do N utilizando clorofilômetro).

Tabela 2. Produtividade de grãos de arroz irrigado em várzea tropical para tratamentos com diferentes doses e manejos de nitrogênio nas safras S1 (2011/2012) e S2 (2012/2013).

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)		
	S1	S2	Média
T0	6.361 b	6.323 b	6.342
T1	8.984 a	8.014 a	8.499
T2	10.006 a	8.134 a	9.070
Média	8.451	7.490	8.119

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. T0: 0 kg ha⁻¹; T1: 110 kg ha⁻¹; T2: 95 kg ha⁻¹ (manejo do N utilizando clorofilômetro).

Quanto às perdas gasosas de N por volatilização de NH₃, observou-se que mais NH₃ foi perdido na entressafra do que nas safras S1 e S2 (entressafra >S2 >S1) (Tabela 3). A intensidade de volatilização de NH₃ foi menor em T2 do que em T0. O tratamento T1 foi intermediário entre T0 e T2. O tratamento com manejo de N utilizando clorofilômetro (T2) foi o mais eficiente em relação à intensidade de volatilização de NH₃, pois a relação entre o N perdido na forma de NH₃ e a produção de grãos de arroz foi a menor (0,25). O cultivo da crotalária e a incorporação de seus resíduos ao solo contribuiu para o significativo aumento da volatilização de NH₃ na entressafra. Este aumento é devido ao input de C e N orgânicos através dos resíduos da crotalária. A produção de massa da matéria seca total desse adubo verde foi, em média, de 8.509 kg ha⁻¹. O cultivo de leguminosas como planta de cobertura na entressafra, em sistemas de produção em várzea, deve ser explorado em futuros

estudos, a fim de entender melhor a relação custo/benefício do uso destas plantas como fontes de N em termos de produtividade e impacto ambiental.

Tabela 3. Volatilização de NH_3 e intensidade de volatilização (quantidade de NH_3 perdido por kg de grão produzido) nos tratamentos com diferentes doses e manejos de nitrogênio em sistema de produção de arroz irrigado tropical, nas safras S1 (2011/2012), S2 (2012/2013) e entressafra.

Tratamentos	S1	Entressafra	S2	Intensidade de volatilização (gN- NH_3 kg ⁻¹)
	(kg ha ⁻¹)			
T0	2,19 aC	4,81 aA	2,97 aB	0,37 a
T1	2,01 aC	4,62 aA	2,66 aB	0,29 ab
T2	2,02 aC	4,65 aA	2,35 aB	0,25 b
Média	2,07	4,69	2,66	0,30

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. T0: 0 kg ha⁻¹; T1: 110 kg ha⁻¹; T2: 95 kg ha⁻¹ (manejo do N utilizando clorofilômetro).

A soma do N emitido (N-N₂O+N-NH₃) é apresentada na Tabela 4. Dois terços (66%) de todo o N emitido durante as duas safras foi na forma de NH₃. Não foram observadas diferenças entre tratamentos ou entre as duas safras avaliadas, porém a perda de N na entressafra foi maior do que nas safras. Durante as duas safras de arroz irrigado, ~40% da emissão total de N-N₂O e ~43% da volatilização de N-NH₃, originou-se sob condições de solo úmido, antes da inundação, o que representa somente um quinto do período entre a semeadura e a colheita (Figura 3).

Tabela 4. Soma de nitrogênio emitido (N-N₂O+N-NH₃) para tratamentos com diferentes doses e manejos em sistema de produção de arroz irrigado tropical, nas safras S1 (2011/2012), S2 (2012/2013) e entressafra.

Tratamentos	Soma de N emitido (kg ha ⁻¹)			
	S1	Entressafra	S2	Média
T0	3,27 aB	6,11 aA	4,75 aB	4,71a
T1	3,31 aB	5,23 aA	3,77 aB	4,10a
T2	3,39 aB	5,49 aA	3,23 aB	4,04a
Média	3,32 B	5,61 A	3,92 B	4,28

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. T0: 0 kg ha⁻¹; T1: 110 kg ha⁻¹; T2: 95 kg ha⁻¹ (manejo do N utilizando clorofilômetro).

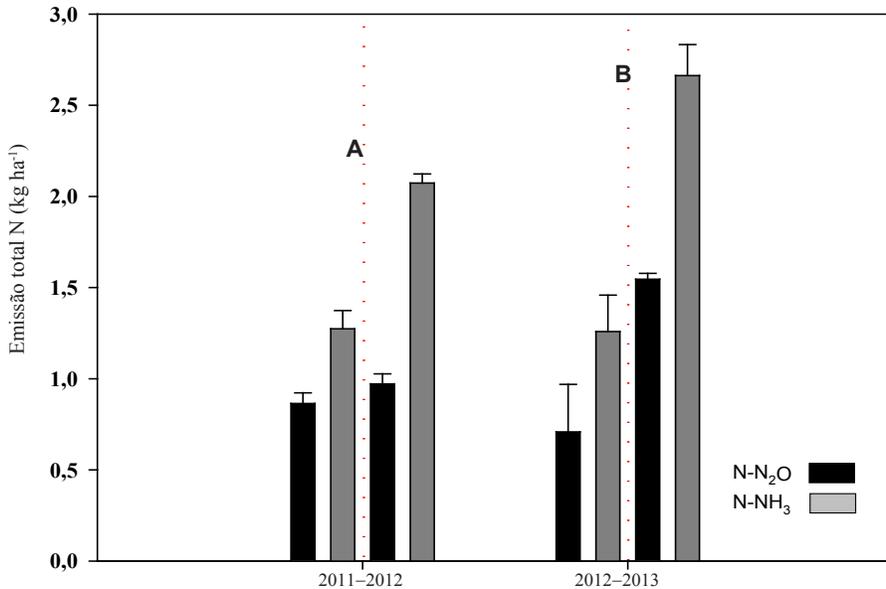


Figura 3. Soma da perda gasosa de nitrogênio na forma de óxido nitroso (N_2O) e amônia (NH_3) em sistema de produção de arroz irrigado tropical, nas safras S1 (2011/2012) e S2 (2012/2013) no período sob condição de solo úmido, antes da inundação (A) e durante todo o ciclo da cultura (B).

Na safra S1 o fator de emissão de N_2O no tratamento com manejo convencional da adubação nitrogenada (T1) foi de 0,2% e no tratamento com manejo da adubação nitrogenada controlada com clorofilômetro (T2) foi de 0,3%. Na safra S2 os fatores de emissão calculados foram negativos. O cultivo da crotalária na entressafra certamente influenciou o conteúdo do N no solo e a emissão de N_2O e NH_3 . Os resultados deste estudo corroboram com os observados por Zanatta et al. (2010) que encontraram um fator de emissão de 0,3% em um Gleissolo cultivado com milho, na região Sul do Brasil. Independentemente da diferença climática entre as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, os fatores de emissão de N_2O são considerados baixos, mas dentro da faixa de incerteza do IPCC 2006 (Eggleston et al., 2006), que estabeleceu como fator de emissão médio 1% (entre 0,3% e 3%) para o uso de fertilizante nitrogenado.

A baixa emissão total de N está parcialmente relacionada à eficiência de recuperação desse elemento pelas plantas de arroz que foi, por exemplo, de

89% em T1 e de 76% em T2, na safra S1. Fageria et al. (2007) encontraram índices de recuperação de N mais baixos, entre 23% e 37%, para diferentes genótipos de arroz irrigado em várzea tropical. Segundo Pocojeski (2011), entretanto, o alto teor de N encontrado no tecido vegetal de plantas de arroz irrigado, cultivado sob regime de inundação, pode estar relacionado ao favorecimento dos mecanismos de transporte e absorção de nutrientes pelas plantas que se encontram em condições favoráveis de produção.

Conclusões

- a) As maiores perdas gasosas de nitrogênio ($N-N_2O+N-NH_3$), durante a safra de arroz irrigado, ocorreram em um período curto, um mês antes da inundação;
- b) Durante as duas safras de arroz irrigado tropical avaliadas, dois terços do nitrogênio foram perdidos na forma de amônia e um terço como óxido nitroso;
- c) O manejo da adubação nitrogenada utilizando o clorofilômetro foi mais eficiente, pois resultou em menor intensidade de volatilização, ou seja, menor perda gasosa de nitrogênio na forma de NH_3 para cada kg de grão de arroz produzido;
- d) Para evitar perdas gasosas de nitrogênio, sugere-se que a aplicação do adubo nitrogenado seja feita em cobertura, quando a lâmina de água estiver estabelecida e ajustada à necessidade das plantas por meio do índice de referência via clorofilômetro;
- e) O fator de emissão de N_2O devido ao uso da adubação nitrogenada, encontrado neste estudo, foi baixo (0,2%-0,3%) em relação ao fator médio de emissão preconizado pelo IPCC, de 1%;
- f) A adubação nitrogenada e a condição de umidade constante favoreceram a alta recuperação de N pelas plantas de arroz e a produtividade de grãos no sistema de produção de arroz irrigado tropical;
- g) O uso e o manejo de uma leguminosa como planta de cobertura na entressafra afetou a dinâmica do N. A soma do N emitido foi maior durante a entressafra, quando o solo foi cultivado com crotalária, do que durante as safras de arroz;

- h) A maior perda gasosa de N, na entressafra, pode estar relacionada à decomposição dos resíduos vegetais da leguminosa, que contém alto teor de N, e às condições intermitentes de umidade do solo.

Referências

- AHMAD, S.; LI, C.; DAÍ, G.; ZHAN, M.; WANG, J.; PAN, S.; CAO, C. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 54-61, Dec. 2009.
- ALVES, B. J. R.; SCIVITTARO, W. B.; JANTALIA, C. P.; SOUSA, R. O. de; BAYER, C.; RODRIGUES, R. de A. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; MADARI, B. E. **Protocolo para medições de fluxos de gases de efeito estufa em sistemas aeróbicos e alagados de produção de grãos - Rede Fluxus**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2017. 55 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos 306).
- 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 sample time for estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 124-135, Mar. 2012.
- ARAÚJO, E. S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p. 769-776, jul. 2009.
- BAYER, C.; COSTA, F. de S.; PEDROSO, G. M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO, E. S.; LIMA, M. A.; FRIGHETO, R. T. S.; GOMES, J.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, v. 162, p. 60-69, June 2014.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF, 2014. 161 p.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; CARMO, J. B.; JARAMILLO, V.; GAVITO, M. E.; ARAÚJO, P. I.; AUSTIN, A. T.; PÉREA, T.; MARQUINA, S. Innovations for a sustainable future: rising to the challenge of nitrogen greenhouse gas management in Latin America. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 9-10, p. 73-81, Nov. 2014.
- CORRÊA, R. S. **Fluxos de N₂O em sistema Integração Lavoura-Pecuária no bioma Cerrado**: comparação entre a câmara estática e o fluxo gradiente. 2014. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Goiânia.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados de conjuntura do arroz (área, produção e rendimento)**: Brasil - 1986 a 2016. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2017.
- EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. 5 v.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Lowland rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 9/10, p. 1405-1429, 2001.

- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, dez. 1982.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; CUTRIM, V. dos A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, jul. 2007.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; LINS, I. D. G.; CAMARGO, S. L. Characterization of fertility and particle size of varzea soils of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul states of Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, n. 1/2, p. 37-47, 1997.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; STONE, L. F. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p.
- FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. Chichester: J. Wiley, 1989. p. 7-21.
- HUANG, S.; PANT, H. K.; LU, J. Effects of water regimes on nitrous oxide emission from soils. **Ecological Engineering**, v. 31, n. 1, p. 9-15, Sept. 2007.
- HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 2, p. 311-316, 1981.
- JANTALIA, C. P.; HALVORSON, A. D.; FOLLETT, R. F.; ALVES, B. J. R.; POLIDORO, J. C.; URQUIAGA, S. Nitrogen source effects on ammonia volatilization as measured with semi-static chambers. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 6, p. 1595-1603, Nov. 2012.
- JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, n. 2, p. 161-173, Oct. 2008.
- JIANG, C.; WANG, Y.; ZHENG, X.; ZHU, B.; HUANG, Y.; HAO, Q. Methane and nitrous oxide emissions from three paddy rice based cultivation systems in Southwest China. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 23, n. 3, p. 415-424, May 2006.
- KIRK, G. **The biogeochemistry of submerged soils**. Chichester: J. Wiley, 2004. 304 p.
- LIU, S.; QJIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N₂O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 4, p. 906-913, Jan. 2010.
- METZ, B.; DAVIDSON, O.; CONINCK, H.; LOOS, M.; MEYER, L. (Ed.). **Carbon dioxide capture and storage**: IPCC special report. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 431 p.
- MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S.; ROBERTSON, G. P. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**: report of the Dahlem Workshop. Berlin: J. Wiley, 1989. p. 175-187.
- NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, v. 39, n. 2, p. 309-318, Oct. 1973.
- PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T. USDA-ARS GRACEnet Project Protocols: Chamber-based trace gas flux measurements. In: FOLLETT, R. F. (Ed.). **Sampling protocols**. Fort Collins: USDA-ARS, 2010. p. 3.1-3.39.
- PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T.; HARGREAVES, S. K. Calculating the detection limits of chamber-based soil greenhouse gas flux measurements. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, n. 3, p. 705-715, May/June 2012.

POCOJESKI, E. **Disponibilidade do nitrogênio em solos de várzea e parâmetros da planta para avaliação nutricional da cultura do arroz**. 2011. 85 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: Sosbai, 2016. 197 p.

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; FARIAS, M. de O.; CORRÊA, G. da S.; LACERDA, C. L.; SILVEIRA, A. D.; SOUSA, R. O. de; PARFITT, J. M. B. **Emissões de metano e de óxido nítrico em planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e aspersão**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 26 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 208).

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O. de; SILVEIRA, A. D.; FARIAS, M. de O. **Emissões anuais de metano e de óxido nítrico em terras baixas**: efeito do método de irrigação para o arroz. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 33 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 236).

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007**: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

SOUZA, E. L. **Emissão de óxido nítrico e metano em área de cultivo de arroz irrigado com diferentes manejos de palha pós colheita**. 2013. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

VEÇOZZI, T. A.; SCIVITTARO, W. B.; SOUSA, R. O. de; SILVEIRA, A. D.; JARDIM, T. M. **Emissões de gases de efeito estufa em cultivo de arroz irrigado**: efeito do manejo da adubação nitrogenada. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 39 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 259).

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; VIEIRA, F. C. B.; GOMES, J.; TOMAZI, M. Nitrous oxide and methane fluxes in south Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1653-1665, set./out. 2010.

ZHANG, Y.; SHENG, J.; WANG, Z.; CHEN, L.; ZHENG, J. Nitrous oxide and methane emissions from a Chinese wheat-rice cropping system under different tillage practices during the wheat-growing season. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 261-269, Mar. 2015.

ZHOU, M.; ZHU, B.; BUTTERBACH-BAHL, K.; WANG, X.; ZHENG, X. Nitrous oxide emissions during the non-rice growing seasons of two subtropical rice-based rotation systems in southwest China. **Plant and Soil**, v. 383, n. 1/2, p. 401-414, Oct. 2014.

ZSCHORNACK, T.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; ANGHINONI, I. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flood irrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 623-634, mar./abr. 2011.

Embrapa

Arroz e Feijão



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

