

184

Circular
TécnicaPelotas, RS
Dezembro, 2017

Autores

Walkyria B. Scivittaro, engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Thaís M. Jardim, graduanda em Agronomia, UFPel, bolsista do CNPq, Pelotas, RS.

Miguel D. F. Guevara, engenheiro sanitário, mestrando em Manejo e Conservação Solo e Água, UFPel, Pelotas, RS.

Rosane Martinazzo, engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Roberta J. Kunde, bacharel em Química Ambiental, graduanda em Agronomia, UFPel, Pelotas, RS.

Lillian Medeiros Barros, graduanda em Engenharia Química, IFSul, Pelotas, RS.

Renata A. Rodrigues, graduanda em Gestão Ambiental, IFSul, Pelotas, RS.

Rogério O. de Sousa, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Faem/UFPel, Pelotas, RS.

Alex B. Monteiro, tecnólogo em Irrigação e Drenagem, doutorando em Ciências, Pelotas, RS.

Cristiane M. Stöcker, engenheira-agrônoma, doutoranda em Agronomia, Pelotas, RS.

Dinâmica de Carbono e Fluxos de Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Produção em Terras Baixas

Introdução

As terras baixas, também conhecidas como áreas úmidas, são definidas como áreas de terra potencialmente inundáveis por pelo menos um período de tempo durante o ano, quando são estabelecidas condições características de sistemas superficialmente inundados (IPCC, 1996). A anaerobiose associada à inundação do solo reduz a taxa de decomposição e permite a acumulação de carbono no solo a longo prazo, mesmo em sistemas de baixa produtividade. A decomposição em ambiente anaeróbico produz metano (CH_4), um potente gás de efeito estufa (GEE), que tem como principal fonte natural para a atmosfera as terras baixas (WATSON et al., 2000). No Rio Grande do Sul, as terras baixas ocupam extensas áreas nas regiões Litoral, Encosta do Sudeste, Depressão Central, Campanha e Campanha/Missões. Como característica comum, os solos de terras baixas apresentam drenagem natural deficiente ou hidromorfismo, normalmente motivado pelo relevo predominantemente plano, associado, na maioria das vezes, a um perfil com camada superficial pouco profunda e subsuperficial mais impermeável (STRECK et al., 2008). A intensidade do hidromorfismo é variável; quando elevada, o caráter é identificado por cor cinzenta ou gleizada e, em intensidade menos acentuada, através de manchas avermelhadas e/ou amareladas (mosqueados) em uma cor de fundo cinzenta. Na paisagem, o hidromorfismo se manifesta de forma menos acentuada nos solos situados em patamares mais elevados, podendo até mesmo estar ausente em solos arenosos (PINTO et al., 2017). Existem, portanto, áreas de terras baixas relativamente bem drenadas, que viabilizam cultivos de sequeiro, e outras tão imperfeitamente drenadas, onde apenas o cultivo de arroz irrigado em rotação com pastagem nativa é viabilizado (SILVA et al., 2001). O cultivo de arroz irrigado constitui-se na principal atividade produtiva das terras baixas do Rio Grande do Sul. Tradicionalmente, a atividade se dá de forma integrada à pecuária de corte; o cereal é cultivado por até duas safras consecutivas e, em razão de limitações fitossanitárias, notadamente a ocorrência de plantas daninhas, dá lugar ao pousio por dois a três anos, período em que se estabelece a pecuária extensiva.

Sob o aspecto ambiental, a lavoura de arroz irrigado é alvo da atenção de cientistas de todo o mundo, por estar associada à emissão dos três mais potentes e longevos gases de efeito estufa, dióxido de carbono (CO_2), metano e óxido nitroso (N_2O), contribuindo para o aquecimento global (ARUNRAT; PUMIJUMNONG, 2017). Entre os GEE, o metano é considerado crítico; a lavoura de arroz constitui-se em uma das principais fontes antropogênicas para a atmosfera, sendo responsável, ainda, pela emissão de quantidades significativas de óxido nitroso, particularmente em sistemas que preconizam a drenagem do solo durante o período de cultivo ou a intermitência da irrigação, como forma de mitigar as emissões de CH_4 (GAIHRE et al., 2014), bem como durante o período em que o solo se encontra em pousio (CAI et al., 1997).

Vários fatores controlam a emissão de CH_4 pelo arroz irrigado, em especial o aporte de matéria orgânica e o regime hídrico (YAN et al., 2005), mas de forma integrada ao clima (VAN HULZEN et al., 1999), a atributos do solo (MITRA et al., 2002) e a práticas de manejo (LU et al., 2000), variando, portanto, entre locais. Além disso, existe uma significativa variação temporal nas emissões (sazonalidade) (GAIHRE et al., 2011). Por essa razão, as terras baixas podem ser uma importante fonte de GEE tanto durante o período de cultivo do arroz irrigado e das espécies em rotação, quanto durante o pousio invernal, dependendo da condição de umidade do solo. Enquanto as emissões de CH_4 são favorecidas pelo excesso de água, as de N_2O estão associadas à alternância na umidade do solo (BRONSON et al., 1997), determinando os processos de nitrificação e desnitrificação.

O óxido nitroso é um GEE cuja liberação para a atmosfera está fortemente associada ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, por aumentarem o conteúdo de nitrogênio (N) mineral no solo. Todavia, emissões diretas de N_2O decorrem, também, do uso de adubos orgânicos, do cultivo de plantas fixadoras de N_2 , da incorporação ao solo de resíduos de colheita e da mineralização de N em solos orgânicos cultivados (IPCC, 1996).

Os solos são responsáveis por 36% das emissões globais de N_2O , estando sua produção associada à presença de fonte de carbono orgânico e dos íons amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) (SCHLESINGER, 2013). Os processos biológicos de nitrificação e desnitrificação são responsáveis pela geração de N_2O no solo. Em condições aeróbias, bactérias nitrificadoras convertem o amônio a nitrato, podendo resultar na emissão de N_2O , como produto intermediário das reações de oxidação do nitrogênio (N). Mas em condições anaeróbias, o N_2O é gerado em processo respiratório, no qual os óxidos de N atuam com receptores finais de elétrons (CANTARELLA, 2007).

O balanço entre a produção e o consumo de N_2O no solo depende de diversos mecanismos físicos, que variam com a temperatura e umidade (RAFIQUE et al., 2011). Da mesma forma, o manejo da adubação nitrogenada, por alterar a disponibilidade de N no solo, pode promover variações nas emissões de N_2O .

Com relação às emissões de CO_2 , essas estão associadas principalmente ao preparo do solo e às operações de cultivo, incluindo semeadura, aplicações de fertilizantes e defensivos químicos, bombeamento de água para a irrigação e colheita (LAL, 2004). De outra forma, os solos apresentam potencial para mitigar o aumento da concentração atmosférica de CO_2 , sequestrando carbono (LAL, 2004a). Por essa razão, o entendimento da influência de distintos sistemas de produção e de práticas de manejo sobre as emissões de GEE e a dinâmica de carbono do solo é fundamental para a identificação de oportunidades para a mitigação de emissões de GEE no ambiente de terras baixas.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a dinâmica de carbono e emissões de CH_4 e N_2O associadas a sistemas de produção em terras baixas, comparando-os com uma área em condição natural.

Material e Métodos

Descrição da área experimental e dos sistemas avaliados

As áreas de estudo estão localizadas na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS (31° 52' 00" S, 52° 21' 24" W, altitude: 13,2 m), totalizando 22,87 ha, dos quais 1,53; 10,95; 9,46 e 0,93 ha são ocupados, respectivamente, pelos sistemas arroz irrigado/pousio, milho/pastagem/soja e pastagem e por área natural (campo nativo). O clima local é classificado como subtropical (Cfa - Köppen) (WREGGE et al., 2012). A precipitação e a temperatura média anual são de 1.367 mm e 17,8 °C (ESTAÇÃO..., 2017). Avaliaram-se quatro tratamentos, representados por três sistemas de produção representativos do ambiente de terras baixas do Rio Grande do Sul: arroz irrigado/pousio; milho/azevém/soja e pastagem melhorada e uma área natural, utilizada como referência (Figura 1). Apenas a área natural não está localizada junto às demais, que são adjacentes e distam cerca de 1,5 km da primeira. Porém, o solo predominante de todas as áreas de estudo é comum, sendo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico típico (CUNHA; COSTA, 2013). Nas áreas relativas aos sistemas de culturas foram delimitadas quatro unidades experimentais de 300 m² (10 m x 30 m), onde foram realizadas as avaliações agronômicas das culturas, de emissões

de GEE e de estoque de carbono. As unidades experimentais foram dispostas em delineamento de faixas, com quatro repetições. Na área natural, as avaliações foram realizadas em quatro pontos escolhidos ao acaso, sem a delimitação de unidades experimentais, evitando a interferência no ambiente. Uma descrição sucinta dos tratamentos avaliados é apresentada na sequência:

- Sistema arroz irrigado/pousio: o sistema foi estabelecido na primavera de 2014 em uma área cultivada nas oito safras anteriores (a partir da safra 2006/07) com a rotação milho/pastagem/soja em sistema plantio direto, estabelecida em camalhões de base larga. Durante o período de outono/inverno de 2014, utilizou-se azevém como cobertura de solo. No início da primavera, desmancharam-se os camalhões e incorporou-se o azevém ao solo mediante operações de aração e gradagem. Em seguida-se realizou-se o aplainamento da superfície do solo e procedeu-se a semeadura do arroz em sistema convencional de cultivo. O cultivo de arroz estendeu-se até meados de abril, mantendo-se o solo em pousio durante o período de outono/inverno, quando a área foi ocupada por vegetação espontânea. Esse sistema envolvendo a sucessão arroz irrigado/pousio no inverno foi mantido até o outono/inverno de 2017.
- Sistema milho/avevém/soja: o sistema foi estabelecido no início da primavera de 2006, com o estruturação de camalhões de base larga como técnica de drenagem para o cultivo de espécies de sequeiro em terras baixas. A primeira espécie produzida nos camalhões foi milho, cujo cultivo estendeu-se até o início do outono de 2007, quando se realizou sobressemeadura de avevém. Na primavera, procedeu-se a dessecação do avevém e semeadura direta de soja, estabelecendo-se rotação milho/avevém/soja em sistema plantio direto, que foi mantida até o outono/inverno de 2017.
- Sistema pastagem melhorada: este sistema foi implantado na primavera de 2011, com a implantação de gramínea de estação quente (milheto) em sistema plantio direto sobre a vegetação espontânea presente na área. No outono de 2012, realizou-se sobressemeadura de avevém (gramínea de estação fria), para o estabelecimento da sucessão de pastagens

de verão e inverno, em sistema plantio direto. A sucessão de gramíneas de estação quente e fria foi mantida até o outono/inverno de 2017, incluindo sorgo forrageiro na safra de primavera/verão e avevém em cultivo solteiro ou consorciado a aveia-preta no outono/inverno. Em ambos os períodos, a área foi periodicamente utilizada com o pastejo de bovinos ou bubalinos em sistema rotacionado. O manejo do pasto foi realizado em tempo variável, ou seja, os períodos de ocupação da área pelos animais foram regulados considerando a carga animal e de forma a evitar sobra de forragem ou superpastejo.

- Área natural: área típica do ambiente de terras baixas, mas sem histórico de cultivo nos últimos 20 anos. Por estar localizada em cota baixa na paisagem, está sujeita a inundações periódicas, especialmente no período de outono/inverno, quando há maior incidência de chuva na região. Revestida por vegetação herbácea, composta predominantemente por gramíneas e espécies vegetais de pequeno porte, com baixa incidência de arbustos, estabelecendo uma paisagem regular e homogênea ao longo do ano.

Nos cultivos de arroz irrigado, milho e soja seguiram-se as indicações técnicas da pesquisa para essas culturas no Sul do Brasil (REUNIÃO..., 2013; 2014a; 2014b).

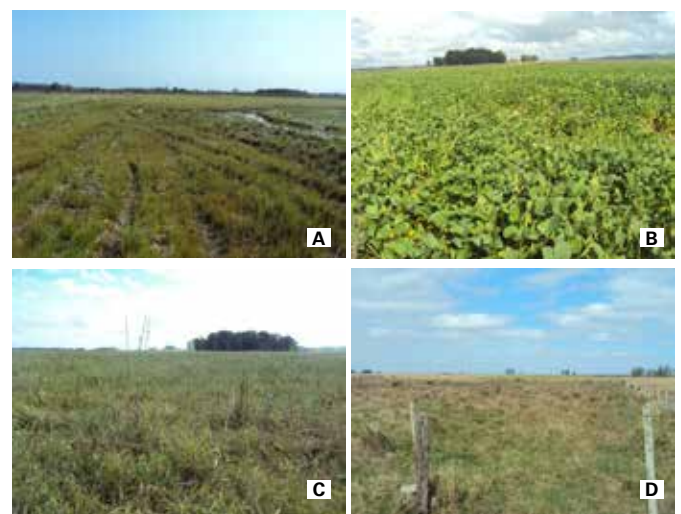


Figura 1. Sistemas de manejo avaliados: a) sistema arroz irrigado/pousio; b) sistema milho/avevém/soja em camalhões de base larga sob plantio direto; c) sistema pastagem melhorada; d) área natural sem histórico de cultivo ou pastejo há pelo menos 20 anos (campo nativo). Fotos: Roberta J. Kunde (a, d); Rosane Martinazzo (b, c).

Avaliação de emissões dos gases de efeito estufa CH₄ e N₂O

As avaliações de emissões dos gases de efeito estufa CH₄ e N₂O estenderam-se de 30 de julho de 2015 a 26 de abril de 2017, incluindo dois períodos de outono/inverno, entressafras 2015 (30/07/2015 a 23/11/2015) e 2016 (21/04/2016 a 14/11/2016)) e dois períodos de primavera/verão, safras 2015/2016 (24/11/2015 a 20/04/2016) e 2016/2017 (15/11/2016 a 26/04/2017). Contemplaram, simultaneamente, duas fases do sistemas tradicional de exploração agropecuária desenvolvido nas terras baixas do Rio Grande do Sul (arroz irrigado/pecuária extensiva, normalmente caracterizado pelo cultivo de arroz irrigado por até duas safras consecutivas e, em razão de limitações fitossanitárias, notadamente a ocorrência de plantas daninhas, dá lugar ao pousio por dois a três anos, período em que se estabelece a pecuária extensiva.

As amostragens de ar para determinação das emissões de CH₄ e N₂O do solo foram realizadas em intervalos regulares de aproximadamente 14 dias, nos períodos de entressafra (outono/inverno) e de 7 dias, nos períodos de safra (primavera/verão). Excepcionalmente, na semana subsequente à realização das adubações nitrogenadas em cobertura para as culturas de arroz e milho, a frequência de amostragem foi reduzida para intervalos de dois dias.

Utilizaram-se coletores distintos para as culturas de arroz irrigado (modelo específico para sistemas alagados – base/extensor/topo), e milho, soja e pastagens (modelo específico para sistemas aeróbios – base/topo) (SCIVITTARO et al., 2016). Ambos os modelos seguem o método da câmara estática fechada (MOSIER, 1989).

Apenas as bases dos sistemas coletores permaneceram nas parcelas experimentais durante todo o período de avaliação. Eventualmente, porém, foram temporariamente retiradas para a realização das operações de preparo do solo e de manejo das culturas. Durante as coletas, os topos dos sistemas coletores foram dispostos sobre as bases. Exclusivamente nos tratamentos e período de cultivo do arroz, quando as plantas atingiram alturas superiores à do conjunto base-câmara, um ou dois extensores, conforme a necessidade, foram colocados entre as bases e os topos.

Os conjuntos base/extensores/topos foram hermeticamente fechados durante as coletas, pela colocação de água em canaletas existentes na parte superior das bases e dos extensores (GOMES et al., 2009).

As amostragens de ar foram realizadas sempre no período da manhã, entre 9 e 12 horas, horário em que os fluxos de emissão de gases de efeito estufa são representativos das emissões médias diárias na região Sul do Brasil (COSTA et al., 2008). As amostras de ar do interior das câmaras foram tomadas manualmente com auxílio de seringas de polipropileno (20 mL), nos tempos 0, 5, 10 e 20 minutos após seu fechamento. O ar no interior das câmaras foi homogeneizado durante 30 segundos anteriormente a cada amostragem, por meio de ventiladores presentes na parte superior das câmaras, e a temperatura interna foi monitorada.

As concentrações de CH₄ e N₂O nas amostras de ar foram determinadas por cromatografia gasosa, no laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Por sua vez, os fluxos de CH₄ e de N₂O do solo foram calculados pela relação linear entre a variação na concentração desses gases e o tempo de coleta. A taxa de variação de gás no interior das câmaras foi obtida pelo coeficiente angular da equação ajustada entre a concentração dos gases e o tempo. As emissões totais de CH₄ e N₂O do período foram calculadas pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários de emissão de CH₄ e de N₂O do solo (GOMES et al., 2009). Com base na emissão acumulada de CH₄ e de N₂O, calculou-se o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), que considera o potencial de aquecimento de cada gás em relação ao CO₂ (25 vezes para o CH₄ e 298 para o N₂O).

Os fluxos e as emissões totais de CH₄ e N₂O foram analisados de forma descritiva (média ± desvio padrão).

Determinação do estoque de carbono do solo (ECS)

A coleta das amostras de solo para determinação da densidade e teor de carbono nos sistemas de manejo milho/azevém/soja e pastagem melhorada ocorreram em março de 2016, e no sistema arroz irrigado/pousio e na área natural ocorreram em setembro de 2016, devido à precipitação elevada

durante o inverno desse ano, o que dificultou a coleta das amostras com umidade adequada.

Amostras deformadas de solo em cada sistema de manejo e no campo nativo foram coletadas com o auxílio de uma pá de corte (Figura 2c) em cinco trincheiras (cinco metros equidistantes entre si), nas camadas 0,00-0,025 m, 0,025-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Nos mesmos pontos coletou-se, em triplicata, amostras indeformadas utilizando anéis volumétricos de 0,030 m x 0,048 m para a determinação da densidade do solo (Ds) (Figura 2a e 2b), conforme metodologia descrita em Embrapa (2011).

As amostras deformadas de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, levadas ao laboratório e, posteriormente, espalhadas em bandejas e secas à sombra até atingirem a umidade correspondente ao ponto de friabilidade, sendo destorroadas manualmente nas linhas de fraqueza das amostras (Figura 2d). Após a secagem, as amostras foram peneiradas em malha de 2,00 mm e maceradas em gral de ágata para quantificação do teor total de carbono por oxidação a seco em um analisador elementar Leco TruSpec CHN.



Figura 2. Coleta de amostras indeformadas de solo nas camadas 0,00-0,025; 0,025-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com o auxílio de anéis volumétricos (a, b) e de amostras deformadas de solo com auxílio de pá de corte (c, d). Fotos: Roberta J. Kunde.

Os resultados de carbono total foram expressos em estoques (Mg C ha^{-1}), que foi calculado considerando a densidade do solo, o teor de carbono e a espessura de cada camada amostrada, empregando-se a fórmula: $\text{ECS} = (\text{C} \times \text{DS} \times \text{p})/10$, em que ECS= estoque de carbono do solo (Mg ha^{-1}); C= teor de carbono do solo (g kg^{-1}); DS= densidade

do solo (g cm^{-3}); e p= espessura da camada do solo (m). Para se evitar interpretações equivocadas dos resultados em função da influência do manejo na densidade do solo, os estoques de carbono total foram calculados em massa equivalente, utilizando-se a fórmula matemática proposta por Sisti et al. (2004) e detalhadamente descrita por Fernandes; Fernandes (2009), conforme segue abaixo:

$$\text{CS} = \sum_{i=1}^{n-1} \text{Cti} + \left[\text{Mtn} - \left(\sum_{i=1}^n \text{Mti} - \sum_{i=1}^n \text{Msi} \right) \right] \times \text{Ctn}$$

Onde:

CS = Estoque de carbono total, corrigido em função da massa de solo de uma área de referência;

$\sum \text{Cti}$ = Somatório dos estoques de C do solo da primeira à penúltima camada amostrada, no tratamento considerado (Mg ha^{-1});

Mtn = massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg ha^{-1});

$\sum \text{Mti}$ = somatório da massa total do solo sob o tratamento (Mg ha^{-1});

$\sum \text{Msi}$ = somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg ha^{-1});

Ctn = teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C Mg^{-1} de solo).

Os resultados foram submetidos à análise estatística descritiva (média \pm desvio padrão).

Resultados e Discussão

Fluxos de metano e óxido nitroso

No primeiro período de avaliação (entressafra 2015), praticamente não foram determinadas emissões de CH_4 do solo, independentemente do tratamento. Mesmo na área previamente cultivada com arroz irrigado, que foi mantida em pousio após a colheita, sem o estabelecimento de infraestrutura de drenagem, determinou-se um único pico de emissão de CH_4 de baixa intensidade ($13,1 \pm 4,9 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por ocasião da primeira avaliação (30/07/2015). Nesse e nos demais sistemas avaliados (milho/azevém/soja e pastagem melhorada), bem como na área natural, observou-se alternância entre fluxos de CH_4 de baixíssima intensidade e influxos eventuais desse GEE também de pequena magnitude (Figura 3).

Esse comportamento ocorreu apesar dos frequentes eventos de chuva ocorridos ao longo da primeira entressafra (2015), alguns deles com média e alta intensidade (Figura 3), favorecendo a saturação do solo devido à drenagem natural deficiente, condição que associada à presença de fonte de carbono lábil favorece a produção de CH_4 (SOUZA, 2013). Há que se considerar, porém, que a emissão de CH_4 do solo para a atmosfera é um balanço entre a produção, oxidação e o transporte desse gás no solo (CHAN; PARKIN, 2000; BRADFORD et al., 2001). A oxidação do CH_4 é realizada por bactérias metanotróficas nas zonas oxigenadas de ecossistemas alagados (SCHIMMEL et al., 1993) ou sujeitos ao alagamento. Tais zonas atuam na regulação do fluxo de CH_4 , de forma que uma quantidade significativa do gás produzido em solos saturados é oxidada antes de ser liberada para a atmosfera (SOUSA et al., 2009), explicando os baixos fluxos de CH_4 medidos durante a entressafra em ambientes contendo fontes de C orgânico e sujeitos ao alagamento temporário.

Na segunda entressafra (2016), o comportamento observado para as emissões de CH_4 foi aproximadamente semelhante ao determinado no ano anterior, exceção feita para o sistema arroz irrigado/pousio, onde alguns picos de emissão de CH_4 de média intensidade foram medidos nos dias 12 de maio, e 6 e 20 de junho, com magnitudes correspondentes a 302,5; 294,3 e 193,3 g $\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente, intercalados com picos de menor intensidade. A partir de então, estendendo-se até meados do mês de setembro, a intensidade das emissões de CH_4 foi menor, caracterizando-se pela ocorrência de alguns picos de baixa magnitude, com tendência de decréscimo ao longo do tempo. Na sequência até o final da segunda entressafra, os fluxos de CH_4 foram praticamente nulos, havendo, inclusive, registros de influxo desse GEE (Figura 3). Nas demais áreas (sistemas pastagem melhorada e milho/azevém/soja e natural), assim como na entressafra 2015, as emissões de CH_4 foram pouco expressivas, caracterizadas pela alternância de fluxos muito pequenos e influxos (absorção), também de baixa magnitude (Figura 3).

Os resultados relativos a ambas as entressafras são indicativos de que o uso/manejo do solo durante a safra de verão foi o fator determinante do padrão e da intensidade de emissões de CH_4 do solo durante a entressafra, suplantando a influência dos eventos de chuva ao longo do

período de avaliação. Desta forma, a condição de solo saturado por ocasião da colheita do arroz e sua manutenção em pousio e sem drenagem durante a entressafra estendeu a duração do período de anaerobiose do solo, contribuindo para maior emissão de CH_4 , comparativamente às áreas natural e cultivadas com pastagem ou com a rotação milho/azevém/soja, visto que a produção desse GEE está associada à decomposição microbiana de materiais orgânicos, via fermentação, em ambientes anaeróbios (CONRAD, 2002). Assim, o preparo antecipado do solo no outono, reconhecido como uma eficiente estratégia mitigadora de emissões de CH_4 durante a próxima estação de cultivo do arroz (BAYER et al., 2013), mostra-se uma alternativa interessante para reduzir as emissões desse GEE também durante o outono/inverno, por favorecer a drenagem do solo durante o pousio invernal.

Durante ambas as safras de verão (2015/2016 e 2016/2017), o fator determinante da magnitude de emissões de CH_4 foi a espécie cultivada/ presente (arroz irrigado, milho, soja, forrageira de estação quente ou campo nativo). Apenas a área cultivada com arroz apresentou picos de emissão de elevada magnitude em ambos os períodos de cultivo, decorrentes da condição de anaerobiose, estabelecida pela irrigação por inundação do solo. Na primeira safra, porém, as emissões de CH_4 iniciaram tardiamente (a partir do início de fevereiro de 2016), pouco antes da floração do arroz. A partir de então, estendendo-se até o final do ciclo da cultura, determinaram-se picos de emissão de média intensidade (Figura 3). Atribui-se o atraso no início das emissões de CH_4 à semeadura tardia da cultura, decorrente de chuvas frequentes durante a primavera. Já na safra 2016/2017, em razão de o período de outono/inverno e início da primavera terem sido mais secos, o arroz pode ser semeado na época recomendada, de forma que já no início de janeiro foram determinados picos médios e crescentes de emissão de CH_4 . Entre os dias 23 e 25 de janeiro de 2017, coincidindo com a fase de pré-floração do arroz, foram determinados os três maiores picos de emissão de CH_4 do cultivo. Na sequência, os fluxos de CH_4 diminuíram em intensidade, mantendo-se em níveis médios até o final do ciclo da cultura (Figura 3).

De acordo com Towprayoon et al. (2005), emissões elevadas de CH_4 na fase reprodutiva do arroz, especialmente na floração, são comuns, devido

às condições ambientais favoráveis à atividade metanogênica, incluindo o pH do solo próximo a 6,0, forte condição de anaerobiose no solo sob alagamento, disponibilidade nutrientes oriundos dos exsudatos radiculares (PUSATJAPONG et al., 2003) e elevada capacidade de transporte de CH_4 pelas plantas de arroz (AULAKH et al., 2000). Por sua vez, Wassmann e Aulakh (2000) atribuem esse efeito à intensa atividade fotossintética das plantas de arroz nessa fase, aumentando a liberação de exsudatos radiculares que atuam como substrato para as bactérias metanogênicas. Na maturação, porém, a taxa de emissão de CH_4 de lavouras de arroz diminui bastante, em função da progressiva redução da atividade fotossintética e da senescência das raízes, dificultando a difusão do CH_4 para a atmosfera (CAI et al., 1997).

Nos demais sistemas de produção e na área natural não ocorreram emissões significativas de CH_4 durante as safras de verão, caracterizando-se por fluxos de baixíssima intensidade alternados por eventuais influxos de CH_4 (Figura 3). Atribuem-se as baixas emissões de CH_4 , determinadas nos sistemas envolvendo forrageiras e espécies de sequeiro e na área natural, à drenagem adequada do solo durante grande parte do tempo de avaliação, evitando o encharcamento e, conseqüentemente, a redução do solo, condição necessária para a produção e emissão de CH_4 . Além disso, o cultivo ou ocorrência natural de forrageiras durante todo o ano ou apenas durante os períodos de entressafra também contribuem para menores emissões desse GEE, em razão de seu potencial mitigador (SAGGAR et al., 2010).

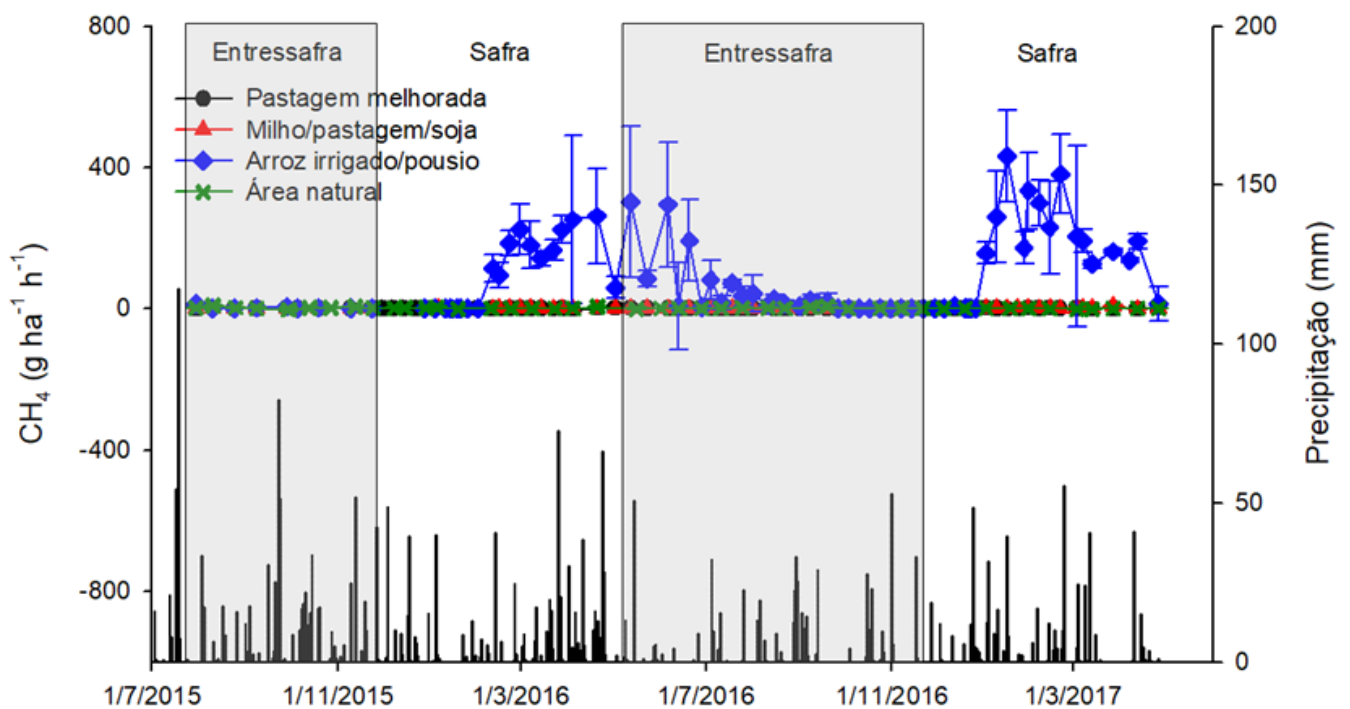


Figura 3. Fluxos de CH_4 e precipitação em sistemas de produção e área natural de terras baixas. Dados relativos às entressafras 2015 e 2016 e safras 2015/2016 e 2016/2017. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Com relação ao N_2O , a variabilidade nas emissões ao longo do tempo foi maior que as de CH_4 . Na primeira entressafra (2015), determinaram-se vários picos de emissão de N_2O de média magnitude na área previamente cultivada com arroz irrigado, intercalados com eventos de influxo de média magnitude. Comportamento semelhante foi verificado nesse sistema de produção durante

a segunda entressafra, quando também foram registrados alguns picos de emissão de maior intensidade, correspondentes a $1.086,0 \pm 1.022,6$; $931,0 \pm 664,8$ e $1.751,5 \pm 640,5$ $\text{mg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{h}^{-1}$, nos dias 28 de junho, 4 de julho e 14 de novembro de 2016, respectivamente (Figura 4).

Emissões mais significativas de N_2O durante as

entressafras foram determinadas para o sistema pastagem melhorada. Na entressafra 2015, esse sistema apresentou vários picos de emissão de N_2O de alta intensidade entre os dias 30 de julho e 28 de setembro; após a intensidade das emissões diminuiu, mantendo-se em valores médios até o início da safra 2015/2016. Também na segunda entressafra, esse sistema apresentou alternância entre picos médios e altos de emissão de N_2O , registrando-se um único evento de influxo desse GEE no final de outubro de 2016 (Figura 4). As emissões de óxido nitroso em áreas sob pastagens estão associadas, principalmente, à aplicação de fertilizante nitrogenado e de esterco animal, bem como à deposição de urina dos animais em pastejo (BROWN et al., 2001), estando associadas aos processos de nitrificação/desnitrificação (JOSE et al., 2016).

O padrão de emissões de N_2O do sistema milho/azevém/soja na entressafra 2015 consistiu na alternância entre picos de emissão de média intensidade e alguns picos elevados. Na segunda entressafra (após o cultivo de soja), determinaram-se dois picos iniciais de emissão de elevada magnitude ($7.441,2 \pm 2.317,3$ e $1.175,3 \pm 780,6$ $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$, nos dias 2 e 12 de maio de 2016, respectivamente), provavelmente associados à rápida decomposição dos resíduos da cultura (baixa C/N), em período com alternância nas condições de oxirredução do solo, devido aos ciclos de umedecimento e secagem. Essa é uma condição que favorece os processos de nitrificação e desnitrificação, que têm o N_2O como produto intermediário (BASTOS, 2014). Na sequência, determinaram-se diversos picos de emissão de média intensidade até o final do mês de setembro, que foram sucedidos pela alternância de picos de emissão médios e eventuais picos negativos (absorção) de N_2O até o final de outubro (Figura 4). Apesar dos resíduos de soja serem ricos em N, as emissões de N_2O associadas à cultura durante a entressafra foram relativamente baixas, com exceção da primeira semana de avaliação, indicando grande eficiência de drenagem do solo, proporcionada pelos camalhões de base larga, minimizando os períodos em que o solo é mantido saturado. Também o estabelecimento de cultura de cobertura de solo, com predomínio de gramíneas - azevém, na entressafra, deve ter contribuído para esse efeito, removendo parte substancial do N liberado pela mineralização dos resíduos de soja. A

área natural apresentou menor variabilidade nas emissões de N_2O , relativamente aos sistemas de produção acompanhados, caracterizando-se, em ambas as entressafras, por pequena flutuação entre picos de emissão baixos e médios e eventuais influxos de N_2O . Esse comportamento manteve-se em ambas as safras de verão, exceção feita para avaliação realizada no início da segunda safra (5 de dezembro de 2016), quando se observou um pico de emissão bastante alto ($10.840,7 \pm 3.069,9$ $mg N_2O ha^{-1} h^{-1}$), sem causa aparente (Figura 4).

Para os demais sistemas avaliados, as emissões de N_2O durante as safras de verão foram mais intensas que nas entressafras. No sistema arroz irrigado/pousio, os picos de emissão de N_2O estiveram associados às adubações nitrogenadas para o arroz e à variação no estado de oxirredução do solo, propiciado pela irrigação por inundação do solo, conforme preconizado por Liu et al. (2010). Nos períodos restantes, as emissões de N_2O foram baixas, chegando a apresentar valores negativos em alguns momentos.

Para o sistema milho/azevém/soja, na safra 2015/2016, os picos de emissão de N_2O ocorreram no início do período de avaliação, devendo estar associados ao revolvimento do solo para a semeadura da cultura, e em meados de fevereiro (15 e 22 de fevereiro) e final de março (22 e 28 de março) (Figura 4). Estes últimos provavelmente decorrentes de ciclos de umedecimento e secagem do solo, favorecendo os processos de nitrificação/desnitrificação (TOWPRAYOON; SMAKGAHN; POONKAEW, 2005). Já na segunda safra, em que se cultivou milho, os picos de emissão de N_2O estiveram associados, também, à fertilização nitrogenada e à variação nas condições de oxirredução do solo, em decorrência de eventos de chuva, sendo, pois, mais frequentes que durante o cultivo da soja. As emissões de N_2O em sistemas agrícolas são influenciadas pela disponibilidade de N (QIN et al., 2012), temperatura e umidade do solo (HU et al., 2013), bem como pela precipitação e irrigação (JU et al., 2011).

No sistema pastagem melhorada, a flutuação nas emissões de N_2O durante o período de primavera/verão foi intensa, especialmente na safra 2015/2016, quando foram determinados sucessivos picos de emissão de elevada magnitude no período inicial de desenvolvimento da forrageira de estação quente

(dezembro de 2015 e início de janeiro de 2016), coincidindo com a época de fertilização nitrogenada da forrageira e com precipitações frequentes. Na safra seguinte, as emissões de N_2O associadas

ao cultivo de forrageira de verão foram menores (Figura 4), possivelmente pelo uso menos intensivo da área para o pastejo e, conseqüentemente, recebendo menor aporte de fertilizantes minerais.

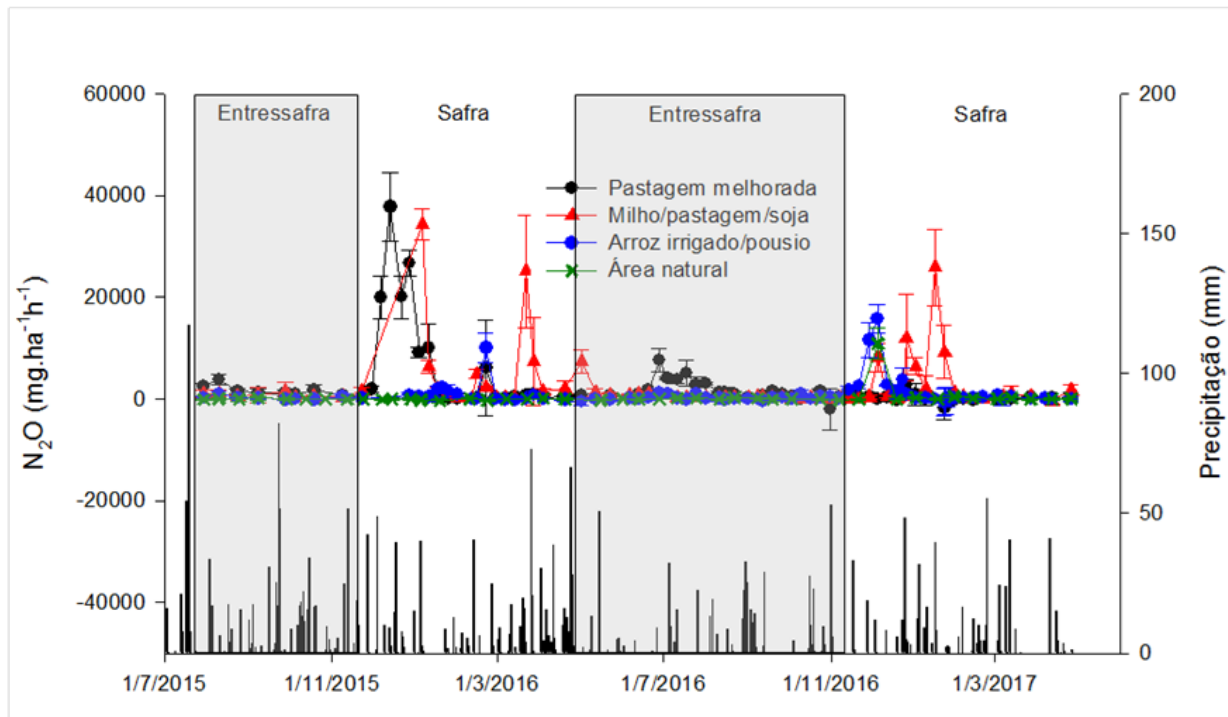


Figura 4. Fluxos de N_2O e precipitação em sistemas de produção e área natural de terras baixas. Dados relativos às entressafra 2015 e 2016 e safras 2015/2016 e 2016/2017. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Emissões totais de metano e óxido nítrico

Na primeira entressafra acompanhada (2015), as emissões de CH_4 do solo foram muito baixas, mesma nas áreas previamente cultivada com arroz irrigado ($7,6 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$) e natural ($6,8 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$), refletindo os fluxos de baixa intensidade e influxos medidos ao longo do período de avaliação (Figura 5). Vale ressaltar, porém, que o período acompanhado foi parcial, a partir de 30 de julho, não incluindo o período imediatamente posterior à colheita do arroz, quando normalmente as emissões de CH_4 são maiores, pela associação dos fatores fonte de carbono lábil, oriundo dos restos culturais abundantes, e solo com umidade elevada. Os demais sistemas apresentaram emissões de CH_4 ainda menores, correspondentes a $0,3 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$ (milho/azevém/soja) e $1,5 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$ (pastagem melhorada) (Figura 5), que são valores característicos de cultivos de sequeiro (condições aeróbias). Esses resultados refletem a adequação da drenagem proporcionada pelo sistema de cultivo em camalhões de base larga, praticamente eliminando as emissões de CH_4 em terras baixas,

apesar das precipitações frequentes durante o período de outono/inverno e da baixa condutividade hidráulica do solo, favorecendo a saturação. Da mesma forma, a área sob pastagem melhorada apresentou boa drenagem, proporcionada por drenos superficiais estabelecidos para garantir o escoamento do excesso de água e favorecer o desenvolvimento das forrageiras.

Os resultados da segunda entressafra (2016) foram distintos; a emissão total de CH_4 da área em pousio (sistema arroz irrigado/pousio) foi de $290,2 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$, bastante superior às emissões medidas nas áreas cultivadas com azevém (sistema milho/azevém/soja) ($2,4 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$) e forrageira de estação fria (sistema pastagem melhorada) ($0,8 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$) e área natural ($0,5 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$) (Figura 5). Esse resultado pode ser explicado pela distinção na umidade da área em pousio (previamente cultivada com arroz), relativamente àquelas cultivadas com azevém e forrageira de inverno ou natural. Nesse sentido, destaca-se que o arroz foi colhido em presença de lâmina de água e a área foi mantida em pousio e na ausência de drenagem durante

o período de outono/inverno, apresentando-se saturada ou com umidade elevada no período posterior à colheita do arroz e após eventos de chuva, condição favorável à emissão de CH_4 , que é o produto final da decomposição microbiana de materiais orgânicos em ambientes anaeróbios (CONRAD, 2002).

Apesar das diferenças entre os sistemas, os totais de CH_4 emitido durante os períodos de entressafra foram baixos, considerando-se o potencial de emissão desse GEE durante o cultivo de arroz irrigado, variando de $339,3 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$, na safra agrícola 2015/2016, a $616,1 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$, na safra agrícola 2016/ 2017 (Figura 5). Esse resultado reforça observações de Zhou et al. (2015), de que as emissões de CH_4 associadas ao cultivo de arroz irrigado representam grande parte das emissões anuais em sistema de sucessão de culturas (arroz irrigado/colza).

Por sua vez, o aumento nas emissões de CH_4 associadas ao cultivo de arroz irrigado da primeira para a segunda safra confirma observações de Rogers et al. (2014), de que o monocultivo de arroz irrigado intensifica as emissões de CH_4 do solo, relativamente a sistemas que incluem espécies de sequeiro em rotação ao arroz.

Nos cultivos de milho e soja (sistema milho/azevém/soja), forrageiras de estação quente (sistema pastagem melhorada) e na área natural, pela manutenção do solo predominantemente oxidado, as emissões de CH_4 foram pequenas também durante a safra de verão ($1,3 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ – milho; $4,4 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ – soja; $0,8$ e $0,9 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ – forrageiras de estação quente; $3,2$ e $0,8 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ – área natural) (Figura 5). Destacam-se, ainda, as emissões relativamente baixas determinadas para as forrageiras do sistema pastagem melhorada, que foi submetido a pastejo rotativo, considerando que o CH_4 também é produto da fermentação anaeróbia de esterco animal e outros substratos (JOSE et al., 2016).

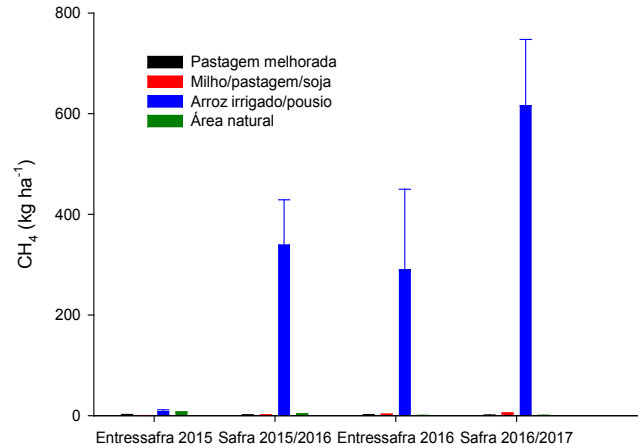


Figura 5. Emissão sazonal de CH_4 de sistemas de produção e área natural de terras baixas. Dados relativos às entressafras 2015 e 2016 e safras 2015/2016 e 2016/2017. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Em ambos os anos de avaliação, o sistema arroz irrigado/pousio proporcionou maior emissão anual de CH_4 . As emissões dos demais sistemas e da área natural foram pouco representativas comparativamente à rotação arroz irrigado/pousio, com pequenas variações entre si nos dois anos de avaliação para os demais sistemas e área natural (Figura 6). A maior emissão acumulada de CH_4 do sistema arroz irrigado/pousio está associada ao baixo potencial de oxirredução do solo, que favorece a redução dos compostos orgânicos do solo e a produção de CH_4 , por microrganismos metanogênicos (WELLER et al., 2015).

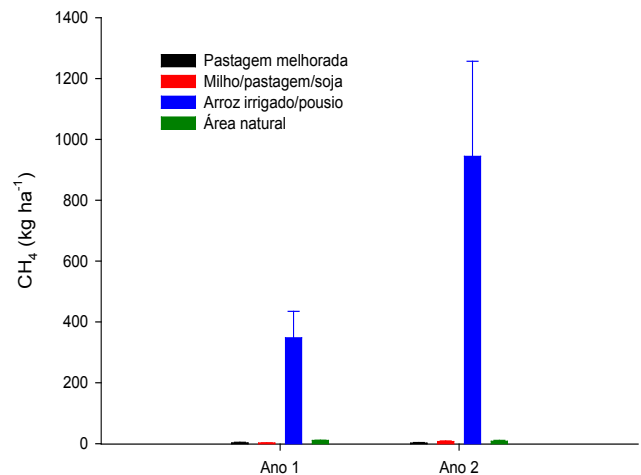


Figura 6. Emissão anual de CH_4 de sistemas de produção e área natural de terras baixas. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Dados relativos aos anos 2015/2016 (entressafra 2015 e safra 2015/2016) e 2016/2017 (entressafra 2016 e safra 2016/2017).

Com relação ao N_2O , em ambas as entressafras, as emissões totais do solo foram relativamente baixas para os três sistemas acompanhados (pastagem melhorada – 4,1 e 6,8 kg N_2O ha⁻¹; milho/azevém/soja – 2,1 e 2,7 kg N_2O ha⁻¹ e arroz irrigado/pousio – 0,5 e 0,8 kg N_2O ha⁻¹ em 2015 e 2016, respectivamente) e praticamente nulas na área natural (-0,04 kg N_2O ha⁻¹, em 2015, e 0,04 kg N_2O ha⁻¹, em 2016) (Figura 7). As baixas emissões de N_2O no outono-inverno devem estar associadas ao baixo conteúdo de N nos restos culturais dos cultivos precedentes, na maioria dos casos gramíneas com elevada relação C/N, bem como ao aporte limitado de fertilizantes nitrogenados às forrageiras de inverno (sistemas milho/azevém/soja e pastagem melhorada), refletindo-se em baixo conteúdo de formas minerais de N no solo, que são o substrato para os processos biológicos de nitrificação e desnitrificação (BARTON et al., 2008), tendo o N_2O como produto intermediário (BASTOS, 2014). Possivelmente, as maiores emissões de N_2O medidas no sistema pastagem melhorada sejam devidas à deposição de urina e esterco dos animais nos períodos de pastejo (BROWN et al., 2001).

O sistema pastagem melhorada proporcionou maior emissão de N_2O que os demais sistemas e área natural também durante a safra 2015/2016 (Figura 7), quando a área foi intensivamente utilizada para pastejo animal, recebendo, pois, o aporte de dejetos animais e de fertilizante nitrogenado após cada uso. Mas na safra subsequente, esse sistema proporcionou menor emissão de N_2O que as demais áreas (Figura 7), basicamente em razão da menor intensidade de uso da pastagem estabelecida. O sistema milho/azevém/soja apresentou emissões equivalentes nas duas safras de verão (10,8 e 11,1 kg N_2O ha⁻¹) (Figura 7), decorrentes, predominantemente, da fixação biológica do nitrogênio pela soja, na safra 2015/2016, e das adubações nitrogenadas para o milho, na safra 2016/2017, em associação com a variação nas condições de oxirredução do solo.

De forma geral, as emissões totais de N_2O decorrentes do cultivo de arroz irrigado foram menores que nos demais sistemas, variando de 2,5 kg N_2O ha⁻¹, na safra 2015/2016, a 6,0 kg N_2O ha⁻¹, na safra 2016/2017 (Figura 7), estando relacionadas às adubações nitrogenadas para a cultura e a eventuais variações no estado de oxirredução do solo, decorrentes de irrigação por inundação do

solo. De forma geral, o cultivo de arroz irrigado por inundação contínua apresenta baixo potencial de emissão de N_2O , devido à estabilidade no conteúdo de oxigênio, potencial redox, umidade e temperatura do solo (PENG et al., 2011).

As emissões de N_2O da área natural foram baixas em ambas as safras de verão, especialmente no primeiro ano de avaliação, quando foi determinado pequeno influxo (absorção) desse GEE (Figura 7).

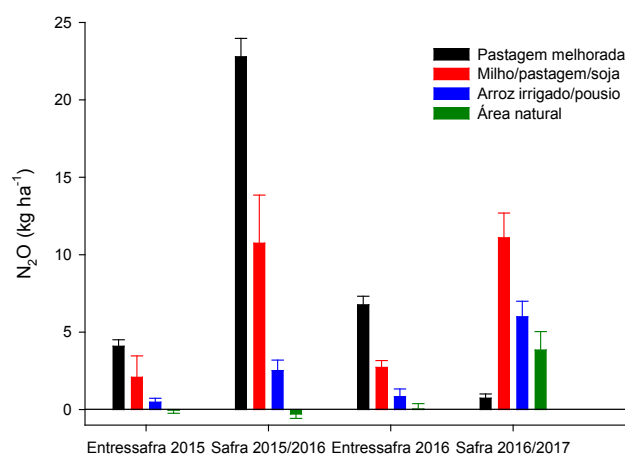


Figura 7. Emissão sazonal de N_2O de sistemas de produção e área natural de terras baixas. Dados relativos às entressafras 2015 e 2016 e safras 2015/2016 e 2016/2017. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

A soma das emissões decorrentes dos períodos de entressafra e de safra mostra que os sistemas milho/azevém/soja e pastagem melhorada totaliza maior emissão anual de N_2O que o sistema arroz irrigado pousio e a área natural. Essa última, dependendo das condições edafoclimáticas, condicionou, inclusive, absorção de N_2O (Figura 8). Esse resultado mostra que o sistema arroz irrigado/pousio, contrariamente ao CH_4 , apresenta baixo potencial de emissão de N_2O , relativamente a sistemas envolvendo rotação de cultivos de sequeiro ou de forrageiras, particularmente sob regime de irrigação por inundação contínua.

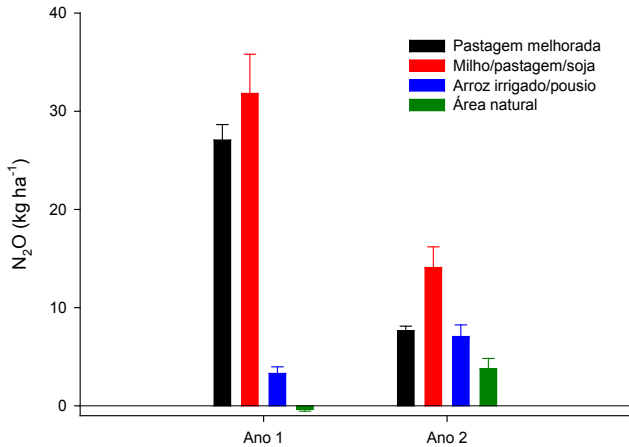


Figura 8. Emissão anual de N₂O de sistemas de produção e área natural de terras baixas. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Dados relativos aos anos 2015/2016 (entressafra 2015 e safra 2015/2016) e 2016/2017 (entressafra 2016 e safra 2016/2017).

Potencial de aquecimento global parcial (PAGp)

Em ambos os anos, o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) decresceu na seguinte ordem: sistema arroz irrigado/pousio > sistema milho/azevém/soja > sistema pastagem melhorada > área natural. No primeiro ano, a diferença no PAGp dos três sistemas avaliados foi pequena, principalmente em razão relativamente baixa emissão de CH₄ associada ao cultivo de arroz irrigado, bem como à elevada emissão de N₂O dos sistemas pastagem melhorada e milho/azevém/soja nos períodos de safra e de entressafra. No segundo ano, porém, o PAGp do sistema arroz irrigado/pousio foi bem superior ao dos sistemas milho/azevém/soja (5,9 vezes maior) e pastagem melhorada (11 vezes maior), devido à elevadíssima emissão de CH₄ proporcionada pelo sistema arroz irrigado/pousio nos períodos de safra e de entressafra (Figura 9).

Quanto à área natural, essa sempre apresentou PAGp menor que os sistemas de produção acompanhados, com variabilidade entre os anos, estações do ano e gases componentes (Figura 9). Assim, no primeiro ano, o PAGp da área natural foi bastante baixo (161,4 kg CO₂ eq. ha⁻¹), estabelecido integralmente durante o período de entressafra, visto que durante o período de primavera/verão o resultado do PAGp foi negativo (Figura 10). No segundo ano, entretanto, o PAGp alcançou maior valor (1325,1 kg CO₂ eq. ha⁻¹), resultante, basicamente, de emissões ocorridas durante a safra

de primavera/verão, visto que na entressafra essas foram bastante baixas (23,6 kg CO₂ eq. ha⁻¹) (Figura 11).

De forma geral, o PAGp associado ao período de safra foi maior que o da entressafra, exceção feita para a área natural no primeiro ano, onde o PAGp determinado foi pequeno, estando integralmente associado ao período de entressafra, bem como para o sistema pastagem melhorada que, no segundo ano, teve seu PAGp determinado quase que exclusivamente pelas emissões ocorridas durante o período de outono/inverno (Figuras 10 e 11). Esses resultados corroboram dados de Silva (2014), relatando que o período de cultivo do arroz irrigado (safra) contribui com mais de 80% para o PAGp anual em Planossolo, em razão das maiores emissões de CH₄.

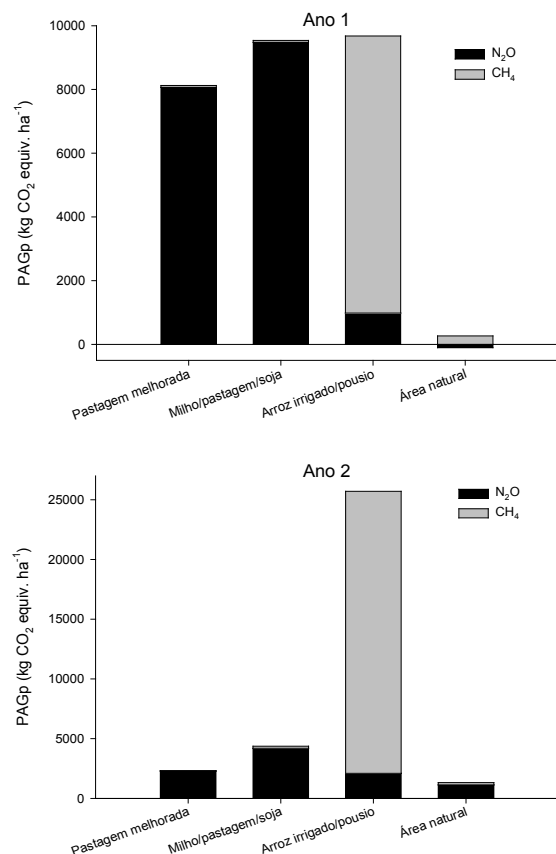


Figura 9. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de sistemas de produção e área natural de terras baixas. Dados relativos aos Ano 1 (2015/2016: entressafra 2015 e safra 2015/2016) e Ano 2 (2016/2017: entressafra 2016 e safra 2016/2017).

Para o sistema arroz irrigado/pousio, o CH_4 é o principal componente do PAGp, seja no período de safra ou na entressafra. Por outro lado, o PAGp dos sistemas pastagem melhorada e milho/azevém/soja é constituído, predominantemente, por N_2O durante os períodos de outono/inverno e nas safras de primavera/verão (Figuras 10 e 11).

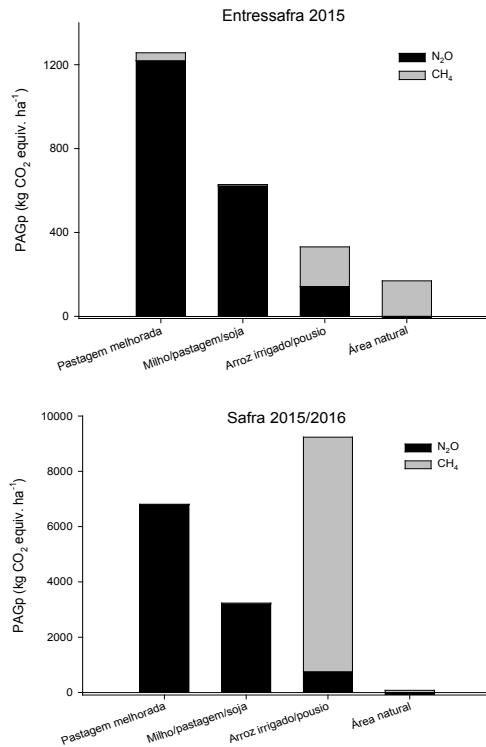


Figura 10. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de sistemas de produção e área natural de terras baixas. Dados relativos ao Ano 1 (2015/2016: entressafra 2015 e safra 2015/2016).

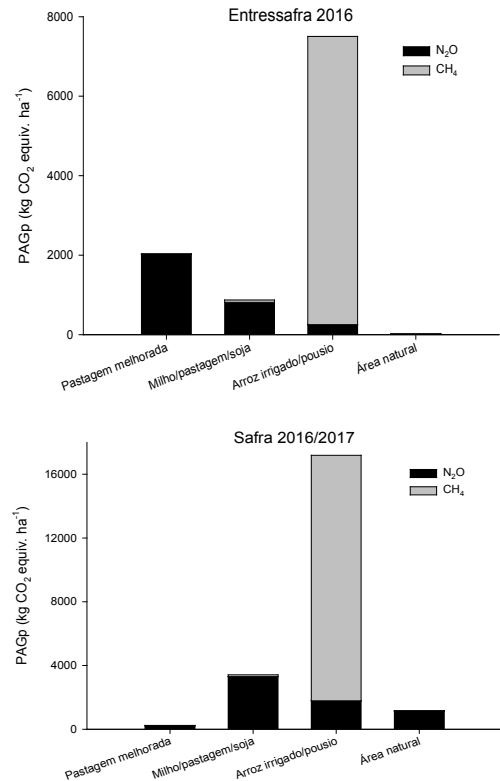


Figura 11. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de sistemas de produção e área natural de terras baixas. Dados relativos ao Ano 2 (2016/2017: entressafra 2016 e safra 2016/2017).

Estoque de carbono do solo

O maior valor de estoque de C no perfil avaliado (camada 0,0–0,20 m) foi observado na área natural (campo nativo) (48,5 Mg ha⁻¹), seguida pelo solo sob pastagem melhorada (43,4 Mg ha⁻¹), solo sob sistema milho/azevém/soja (41,6 Mg ha⁻¹) e solo sob sistema arroz irrigado/pousio (37,6 Mg ha⁻¹) (Figura 12).

Esses valores corroboram os encontrados por Rosa et al. (2011) que, ao avaliarem os ECS em Planossolo Háplico sob diferentes sistemas de manejo de arroz irrigado e sob campo nativo, observaram ECS de 47,83 Mg ha⁻¹, em solo sob campo nativo, e 31,79 Mg ha⁻¹, em solo sob sistema tradicional de cultivo (um ano com arroz irrigado por inundação do solo e preparo convencional seguido de dois anos de pousio), na camada 0,0–0,20 m. Adicionalmente, Zschornack (2007), avaliando solos de terras baixas sob campo nativo, obteve estoques de 47,34 e 64,34 Mg ha⁻¹ em dois Planossolos distintos, localizados nos municípios de Pelotas-RS e Cristal-RS, respectivamente, municípios com clima semelhante ao do local do presente estudo.

Cabe salientar que nenhum dos sistemas de manejo do solo avaliados foi capaz de se igualar à referência (área natural), que apresentou ECS de $48,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 12), aproximadamente 10%, 14% e 22% maior do que os ECS apresentados pelos sistemas pastagem melhorada, milho/azevém/soja, e arroz irrigado/pousio, respectivamente.

Comportamento similar foi observado por outros autores ao avaliarem os efeitos da conversão de ecossistemas naturais para sistemas de cultivos. Rosa et al. (2003) observaram diminuição no conteúdo de carbono do solo de 20% a 50%, dependendo da profundidade, quando um solo sob vegetação nativa na região de Santa Helena de Goiás foi convertido para área de cultivo agrícola sob plantio direto irrigado (rotação com milho, feijão, milheto, soja e crotalária) e de sequeiro (rotação com milho, soja e milheto).

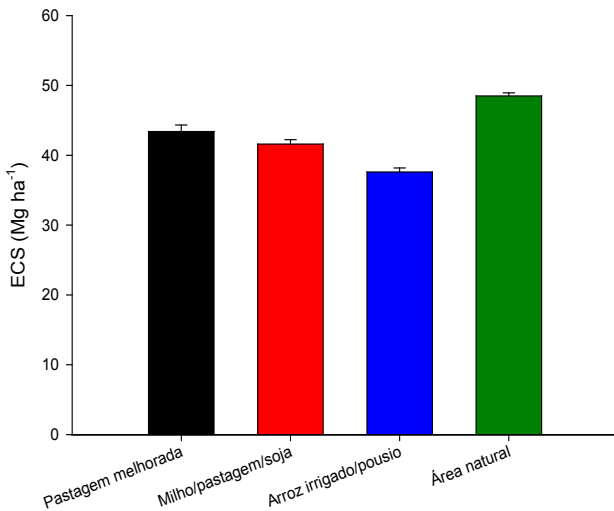


Figura 12. Estoques de carbono do solo (ECS) no perfil avaliado (0,0 a 0,20 m) de Planossolo Háplico Eutrófico típico sob condição natural (área natural) e sob os sistemas pastagem melhorada, milho/azevém/soja em camalhões de base larga sob plantio direto e arroz irrigado/pousio.

Considerando-se as camadas amostradas, os maiores ECS foram observados na **área natural**, independentemente da profundidade (Tabela 1), o que pode ser atribuído à ausência de interferência antrópica e à possível maior diversidade e quantidade de vegetação presente nessa área, favorecendo a entrada constante de carbono jovem via espécies nativas, determinando maior aporte de resíduos culturais e contribuindo, dessa forma, para o aumento dos estoques de carbono nesse sistema. As maiores diferenças entre a área natural e os

sistemas de manejo avaliados foram observadas na camada superficial do solo (0-0,025 m), o que se deve provavelmente à maior quantidade de resíduos vegetais e fragmentos de raízes presente na área natural.

Nos demais sistemas, considerando-se a camada 0,00-0,025 m, os maiores ECS foram encontrados na pastagem melhorada. Esse resultado pode ser justificado pela maior produção e acúmulo de biomassa vegetal pelas espécies forrageiras em comparação às culturas de grãos, cuja fitomassa é, muitas vezes, insuficiente para a manutenção da cobertura do solo (LOSS et al., 2011). As pastagens possibilitam um incremento nos estoques de carbono em função do elevado desenvolvimento e aporte de resíduos culturais, tanto da parte aérea como das raízes (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008). Além disso, lavouras anuais acumulam fitomassa predominantemente sobre o solo e logo após a colheita ocorre rápida decomposição e perda de matéria orgânica para a atmosfera sob a forma de CO₂.

Os menores ECS no perfil de solo avaliado (0,00-0,20 m) e nas camadas 0,00-0,025 m, 0,025-0,05 m e 0,10-0,20 m foram observados no sistema sob cultivo de arroz irrigado. Este resultado evidencia que em solos de terras baixas cultivados com arroz irrigado, o alagamento, revolvimento e manejo intensivo durante o preparo da área promove perdas consideráveis de carbono na camada superficial (ROSA et al., 2011).

Tabela 1. Estoques de carbono do solo (ECS) nas camadas 0,00-0,025, 0,025-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de um Planossolo Háplico Eutrófico típico sob diferentes sistemas de produção e sob campo nativo (área natural).

Sistema de produção	ECS			
	0,00-0,025 m	0,025-0,05 m	0,050-0,10 m	0,10-0,20 m
----- Mg ha ⁻¹ -----				
Arroz irrigado/pousio	5,04 ± 0,2	4,86 ± 0,1	9,38 ± 0,2	17,50 ± 0,7
Milho/azevém/soja	7,98 ± 0,4	6,99 ± 0,5	10,29 ± 0,7	18,45 ± 0,8
Pastagem melhorada	8,58 ± 0,5	6,37 ± 0,4	10,75 ± 0,8	19,98 ± 1,1
Área natural	8,95 ± 0,1	6,95 ± 0,1	11,30 ± 0,2	21,29 ± 0,2

Conclusões

O sistema arroz irrigado/pousio proporciona maior emissão anual de CH₄ que os sistemas milho/azevém/soja e pastagem melhorada, bem como área natural.

O período de cultivo de arroz irrigado responde pela maior parte do potencial de emissão de CH₄ do solo sob o sistema arroz irrigado/pousio. Nos sistemas pastagem melhorada e milho/azevém/soja e na área natural, as emissões de CH₄ estão associadas a eventos de solo saturado.

Os sistemas milho/azevém/soja e pastagem melhorada proporcionam maior emissão anual de N₂O que o sistema arroz irrigado/pousio e a área natural.

No período de outono/inverno, as emissões de N₂O do solo são baixas para os sistemas pastagem melhorada, milho/azevém/soja e arroz irrigado/pousio, praticamente não ocorrendo na área natural.

Durante a safra, os sistemas envolvendo cultivos de sequeiro, particularmente o sistema pastagem melhorada, que inclui animais em pastejo, apresentam maior potencial de emissão de N₂O que o cultivo de arroz irrigado por inundação contínua e a área natural. ---

O PAGp decresce na seguinte ordem: sistema arroz irrigado/pousio > sistema milho/azevém/soja > sistema pastagem melhorada > área natural, estando predominantemente associado à safra de primavera/verão.

O CH₄ é o principal componente do PAGp do sistema arroz irrigado/pousio, enquanto que os sistemas pastagem melhorada e milho/azevém/soja têm o N₂O como constituinte principal do PAGp nos períodos de entressafra e de safra.

A área natural apresenta maior estoque de carbono no perfil do solo que os sistemas de manejo do solo. Entre esses, o estoque de carbono decresce da pastagem melhorada para a rotação milho/azevém/soja e, finalmente, o sistema arroz irrigado/pousio.

Referências

- ARUNRAT, N.; PUMIJUMNONG, N. Practices for reducing greenhouse gas emissions from rice production in Northeast Thailand. **Agriculture**, v. 7, n. 4, 20 p, 2017. Doi: 10.3390/agriculture7010004
- AULAKH, M. S.; BODENBENDER, J.; WASSMANN, R.; RENNENBERG, H. Methane transport capacity of rice plants. I. Influence of methane concentration and growth stage analyzed with an automated measuring system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 58, p. 357-366, 2000.
- BARTON, L.; KIESE, R.; GATTER, D.; BUTTERBACH-BAHL, K.; BUCK, R.; HINZ, C.; MURPHY, D. V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. **Global Change Biology**, v. 14, p. 177-192, 2008. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01474.x
- BASTOS, D. F. **Emissão de gases de efeito estufa em solo sob integração lavoura-pecuária com ovinos no Sul do Brasil**. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; SOUSA, R. O.; SILVA, L. S.; SCIVITTARO, W. B.; SILVA, P. R. F.; GIACOMINI, S.; CARMONA, F. C. Strategies to mitigate methane emissions in lowland rice fields in South Brazil. **Better Crops**, v. 97, n. 1, p. 27-29, 2013.
- BRADFORD, M. A.; INESON, P.; WOOKEY, P. A.; LAPPIN-SCOTT, H. M. Role of CH₄ oxidation, production, and transportation in forest soil CH₄ flux. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, p. 1625-1631, 2001.
- BRONSON, K. F.; NEUE, H. U.; ABAO JR., E. B.; SINGH, U. Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil: I. Fallow period emissions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 988-993, 1997.

- BROWN, L.; ARMSTRONG BROWN, S.; JARVIS, S. C.; SYED, B.; GOULDING, K. W. T.; PHILLIPS, V. R.; SNEATH, R. W. ; PAIN, B. F. An inventory of nitrous oxide emissions from agriculture in the UK using the IPCC methodology: emission estimate, uncertainty and sensitivity analysis. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 8, p. 1439-1449, 2001.
- CAI, Z.; XING, G.; YAN, X.; XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. **Plant and Soil**, v. 196, p. 7-14, 1997.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.
- CHAN, A. S. K.; PARKIN, T. B. Evaluation of potential inhibitors of methanogenesis and methane oxidation in a landfill cover soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1581-1590, 2000.
- CONRAD, R. Control of microbial methane production in wetland rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, p. 59-69, 2002.
- COSTA, F. S.; BAYER, C.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLINI, E. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2049-2053, 2008.
- CUNHA, N. G. da; COSTA, F. A. da. **Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 152).
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2011. 230 p.
- ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS (Capão do Leão). **Normais climatológicas** - mensal/ anual. Pelotas: Embrapa Clima Temperado: UFPEL, 2017. Disponível em: <<http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/mensal.html>> Acesso em: 26 out. 2017.
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69).
- FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 5, p. 613-625, 2008.
- GAIHRE, Y. K.; TIROL-PADRE, A.; WASSMANN, R.; AQUINO, E.; PANGGA, G. V.; STA-CRUZ, P. C. Spatial and temporal variations in methane fluxes from irrigated lowland rice fields. **The Philippine Agricultural Scientist**, v. 94, n. 4, p. 335-342, 2011.
- GAIHRE, Y. K.; WASSMANN, R.; TIROL-PADRE, A.; PANGGA, G. V.; AQUINO, E.; KIMBALL, B. A. Seasonal assessment of greenhouse gas emissions from irrigated lowland rice fields under infrared warming. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 184, p. 88-100, 2014.
- GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. S.; PICCOLO, M. 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 and Tillage Research**, v. 106, p. 36-44, 2009.
- HU, X. K.; SU, T.; GAO, B.; OENEMA, O.; CHRISTIE, P.; HUANG, B. X.; JIANG, R. F.; ZHANG, F. S. Greenhouse gas emissions from a wheat-maize double cropping system with different nitrogen regimes. **Environmental Pollution**, v. 176, p. 198-207, 2013.
- IPCC. Climate change impacts on forests. In: WATSON, R. T.; ZINYOWERA, M. C.; MOSS, R. H. (Ed.). **Climate Change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses**. Contribution of working group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University, 1996. 879 p.
- JOSE, V. S.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; RATNAKARAN, A. P.; LEES, A. M.; AL-HOSNI, Y. A. S.; SULLIVAN, M.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J. B. Modeling of greenhouse gas emission from livestock. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, n. 27, 2016. Doi: 10.3389/fenvs.2016.00027

- JU, X.; LU, X.; GAO, Z.; CHEN, X.; SU, F.; KOGGE, M.; RÖMHELD, V.; CHRISTIE, P.; ZHANG, F. Processes and factor controlling N₂O production in an intensively managed low carbon calcareous soil under sub-humid monsoon conditions. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 1007-1016, 2011.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, p. 1-22, 2004a.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.
- LIU, S.; QIN, 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, p. 906-913, 2010.
- LU, Y.; WASSMANN, R.; NEUE, H. U.; HUANG, C.; BUENO, C. S. Methanogenic responses to exogenous substrates in anaerobic rice soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1683-1690, 2000.
- MITRA, S.; WASSMANN, R.; JAIN, M. C.; PATHAK, H. Properties of rice soil affecting methane production potentials: I. Temporal patterns and diagnostic procedures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, p. 169-182, 2002.
- MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREA, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin: Wiley, 1989. p. 175-187.
- PENG, S.; HOU, H.; XU, J.; MAO, Z.; ABUDO, S.; LUO, Y. Nitrous oxide emissions from paddy fields under different water managements in southwest China. **Paddy and Water Environment**, v. 9, p. 403-411, 2011.
- PINTO, L. F. S.; MIGUEL, P.; PAULETTO, E. A. Solos para o cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: PARFITT, J. M. B.; SCIVITTARO, W. B. (Ed.). **Cultivo de arroz irrigado por aspersão no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. (Embrapa Clima Temperado. Sistema de Produção, 24). No prelo.
- PUSATJAPONG, W.; KERDCHOECHUEN, O.; TOWPRAYOON, S. Glucose, fructose, and sucrose accumulation in root and root exudate of rice cv. Supanburi 1. **KMUTT Research Development Journal**, v. 26, n. 3, p. 339-350, 2003.
- QIN, S.; WANG, Y.; HU, C.; OENEMA, O.; LI, X.; ZHANG, Y.; DONG, W. Yield-scaled N₂O emissions in a winter wheat-summer corn double-cropping system. **Atmospheric Environment**, v. 55, p. 240-244, 2012.
- RAFIQUE, R.; HENNESSY, D.; KIELY, G. Nitrous oxide emission from grazed grassland under different management systems. **Ecosystems**, v. 14, p. 563-582, 2011.
- REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Pelotas. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. Editores técnicos Ana Cláudia Barneche de Oliveira, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014a. 124 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 382).
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 58.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 41., 2013, Pelotas. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 124 p. Editores técnicos Beatriz Marti Emygdio, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa, Mauro Cesar Celaro Teixeira. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98253/1/livro-indicacoes-milho-sorgo.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.
- REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 30., 2014, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2014b. 192 p.
- ROGERS, C. W.; BRYE, K. R.; SMARTT, A. D.; NORMAN, R. J.; GBUR, E. E.; EVANS-WHITE, M. A. Cultivar and previous crop effects on methane emissions from drill-seeded, delayed-flood rice

production on a silt-loam soil. **Soil Science**, v. 179, p. 28-36, 2014.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; PILLON, C. N.; LEAL, O. A. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1769-1776, 2011.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 911-923, 2003.

SAGGAR, S.; BOLAN, N. S.; BHANDRAL, R.; HEDLEY, C. B.; LUO, J. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 4, p. 513-544, 2010.

SCHIMEL, J. P.; HOLLAND, E. A.; VALENTINE, D. Controls on methane flux from terrestrial ecosystems. In: HARPER, L. A.; MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M. (Ed.). **Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1993. p. 167-182. (ASA Special Publication, 55).

SCHLESINGER, W. H. An estimate of the global sink for nitrous oxide in soils. **Global Change Biology**, v. 19, p. 2929-2931, 2013.

SCIVITTARO, W. B.; SOUSA, R. O.; BAYER, C. **Protocolo para medições de emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de arroz irrigado e em áreas sujeitas ao alagamento do solo – Rede Fluxus**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 41 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 426).

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B.; PORTO, M. P. **Manejo da água para as culturas do milho, sorgo e soja em solos hidromórficos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 46 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 26).

SILVA, J. T. **Emissões de metano e de óxido nitroso em área de arroz irrigado influenciadas por sistemas de preparo do solo**. 2014. 70 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em

Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B. J. R.; URQUIAGA, S. BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SOUSA, R. O.; VAHL, L. C.; OTERO, X. L. Química de Solos Alagados. In: MELLO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e Mineralogia do Solo**. Parte II – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 485-528.

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

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.

TOWPRAYOON, S.; SMAKGAHN, K.; POONKAEW, S. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. **Chemosphere**, Oxford, v. 59, p. 1547-1556, 2005.

VAN HULZEN, J. B.; SEGERS, R.; Van BODEGOM, P. M.; LEFFELAAR, P. A. Temperature effects on soil methane production: an explanation for observed variability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1919-1929, 1999.

WASSMANN, R.; AULAKH, M. S. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 20-29, 2000.

WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. (Ed.). **Land use, land-use change and forestry**. Cambridge, UK: Cambridge University, 2000. 375 p.

WELLER, S.; KRAUS, D.; AYAG, K. R. P.; WASSMANN, R.; ALBERTO, M. C. R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R. Methane and nitrous oxide emissions from rice and maize production in

diversified rice cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 101, p. 37-53, 2015.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. (Ed.) **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 333 p.

YAN, X. Y.; YAGI, K.; AKIYAMA, H.; AKIMOTO, H. Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1131-1141, 2005.

ZHOU, M.; ZHU, B.; BRÜGGEMANN, N.; WANG, X.; ZHENG, X.; BUTTERBACH-BAHL, K. Nitrous oxide and methane emissions from a subtropical rice-rapeseed rotation system in China: a 3-year field case study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 212, p. 297-309, 2015.

ZSCHORNACK, T. **Fracionamento e estoques de carbono orgânico de solos de várzea sob campo natural no Rio Grande do Sul**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Circular Técnica, 184

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392, Km 78, Caixa Postal 403
Pelotas, RS - CEP 96010-971

Fone: (53)3275-8100

www.embrapa.br/clima-temperado

www.embrapa.br/fale-conosco/sac



1ª edição

Obra digitalizada (2017)

Comitê de Publicações

Presidente: Ana Cristina Richter Krolow

Vice-Presidente: Enio Egon Sosinski Junior

Secretária: Bárbara Chevallier Cosenza

Membros: Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson, Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon

Expediente

Revisão do texto: Bárbara C. Cosenza

Normalização bibliográfica: Marilaine Schaun Pelufê

Editoração eletrônica: Nathália Coelho (estagiária)