

Estimativa da emissão de gases de efeito estufa e da volatilização de amônia em sistemas de manejo de solo e de sucessão/rotação de culturas com trigo



Foto: Anderson Santi

Autores

Anderson Santi

Engenheiro-agrônomo, M.Sc.
em Agronomia, pesquisador da
Embrapa Trigo, Passo Fundo,
RS.

Henrique Pereira dos Santos

Engenheiro-agrônomo, Dr.
em Agronomia/Fitotecnia,
pesquisador da Embrapa Trigo,
Passo Fundo, RS.

Cimélio Bayer

Engenheiro-agrônomo, D.Sc.,
Professor da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, RS.

Genei Antonio Dalmago

Engenheiro-agrônomo, Dr. em
Fitotecnia/Agrometeorologia,
pesquisador da Embrapa Trigo,
Passo Fundo, RS.

Fabiano Daniel De Bona

Engenheiro-agrônomo, Dr. em
Agronomia/Solos e Nutrição
de Plantas, pesquisador da
Embrapa Trigo, Passo Fundo,
RS.

Efeito de sistemas de manejo e de sucessão/rotação de culturas sobre a emissão de gases de efeito estufa

A extensa discussão sobre a questão climática global, acirrada no início do século XXI com a divulgação do IV relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, na tradução em português) (SOLOMON et al., 2007a), é reflexo da preocupação que paira sobre os diversos setores da sociedade. Nesse contexto, o aquecimento global é apresentado como uma realidade que não pode mais ser ignorada (SOLOMON et al., 2007b), principalmente em um cenário em que a mudança de clima pode representar séria ameaça à segurança alimentar (THORNTON et al., 2014), afetando não só a quantidade de alimentos produzidos, mas também a capacidade de distribuí-los de forma equitativa (MYERS et al., 2017). Nos últimos 16 anos, ocorreram os 15 anos mais quentes já registrados, sendo que 2016 bateu o recorde do ano anterior, com temperatura 0,94 °C superior à média registrada no século 20. Embora exista extenso debate acerca da causa desse fenômeno, a atividade antropogênica tem ganhado força no meio científico (COOK et al., 2016), atribuindo-se o incremento global da temperatura do ar ao aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o gás carbônico, o metano e o óxido nitroso (TIAN et al., 2016). O óxido nitroso e o metano são importantes GEE pelo potencial de aquecimento 296 vezes e 23 vezes superiores ao gás carbônico, respectivamente, refletindo em expressivo efeito no forçamento radiativo da atmosfera (SOLOMON et al., 2007b).

Eduardo Lopes da Silva
Graduando em
Agronomia,
Universidade de Passo
Fundo, estagiário da
Embrapa Trigo, Passo
Fundo, RS.

Luís Adriano Scherer
Graduando em
Agronomia,
Universidade de Passo
Fundo, estagiário da
Embrapa Trigo, Passo
Fundo, RS.

Camila Zeist.
Engenheira-agrônoma,
Assistente de Pesquisa,
DuPont Pioneer do
Brasil S.A., Coxilha, RS.

Atribui-se à queima de combustíveis fósseis mais de 80% do total de emissões globais de GEE, e o desmatamento e outros usos do solo contribuem com os 20% restantes. No Brasil, esta relação é diferente, pois do total emitido em 2014 (1,56 bilhões de toneladas), quase 60% são advindos de atividades agropecuárias, sendo 423 Mt (Megatonelada = 1.000.000 t) de CO₂e (CO₂ equivalente) oriundos da agricultura e da pecuária (emissões diretas) e 486 Mt CO₂e emitidos por mudanças de uso da terra (basicamente, queimadas), por combustíveis fósseis usados na agricultura e por resíduos agrícolas industriais (emissões indiretas). No âmbito da agropecuária, a atividade agrícola emite 16% do total dos GEE (COSTA JUNIOR; PIATTO, 2016).

A reversão de possíveis efeitos da mudança de clima passa pela mitigação da emissão de GEE, independente de sua fonte. A superação desse desafio requer a realização de estudos nesse âmbito, sem ignorar que o componente político é imprescindível para alicerçar as ações concebidas no contexto técnico-científico.

Nos sistemas de produção de grãos do Brasil, o uso de fertilizantes nitrogenados e o manejo inadequado do solo e das culturas são os principais fatores associados à emissão atmosférica de óxido nitroso, sendo que a atividade agropecuária é responsável por 96% do total emitido. A agricultura é sensível a elementos climáticos, sendo vulnerável no cenário de mudança de clima, o que justifica a busca pela transição de atuais modelos de produção por modelos pautados em mitigação da emissão de GEE e na adaptação de plantas frente a estas mudanças. Neste caso, ignorar a necessidade de adaptação das culturas pode conduzir a perdas de até 50% no rendimento do trigo e da soja, em um horizonte de apenas 30 anos (OSBORNE et al. 2013).

Aliado ao esforço global para conter o avanço dos efeitos da mudança de clima, o Brasil instituiu a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC) pela Lei nº 12.187/2009 (BRASIL, 2009), que definiu o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir as emissões de gases de efeito estufa entre 36% e 39% em relação as 3,236 Gt (1 Gt = 109 t) de CO₂e projetadas até 2020. O Decreto nº 7.390/2010 regulamentou a PNMC e estabeleceu o plano para consolidação de economia de baixa emissão de carbono na agricultura (Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), que visa a melhorar a eficiência do uso de recursos naturais e adaptar o setor agropecuário às mudanças de clima. O plano é composto por seis linhas de ação (programas) direcionadas à mitigação da emissão de GEE e à criação de programa com foco em adaptação às mudanças climáticas. A contribuição do setor agropecuário será fundamental nesse processo, pois terá a responsabilidade de mitigar 22,5% das emissões projetadas para 2020. Nesse sentido, estimou-se que, para cumprir essa meta, serão necessárias as seguintes ações: recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas; ampliar a adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) em 4 milhões de hectares; expandir a adoção do sistema plantio direto (SPD) em 8 milhões de hectares; expandir a adoção da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em 5,5 milhões de hectares, em substituição ao uso de fertilizantes nitrogenados; aumentar o plantio de florestas em 3 milhões de hectares; e ampliar o uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de m³ de dejetos animais (BRASIL, 2012).

A execução de estudos para resolução desses desafios requer a construção regional de índices de emissão, para demonstrar a eficiência dos sistemas de produção e para fornecer índices confiáveis na quantificação do impacto das metas de mitigação adotadas no Plano ABC.

Nesse sentido, foram realizados estudos na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, buscando quantificar o impacto de sistemas de manejo do solo e de sucessão/rotação de culturas na emissão de GEE para a atmosfera e na mitigação da emissão de óxido nitroso (N_2O) e de metano (CH_4). Os estudos foram conduzidos na área experimental da Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico (SANTOS et al., 2013) e em clima subtropical úmido tipo Cfa, conforme classificação de Köppen (MORENO, 1961), com temperatura média das mínimas e média das máximas do ar de 8,9 °C (no mês mais frio) e de 28,3 °C (no mês mais quente), e precipitação pluvial média anual de 1.803 mm (EMBRAPA TRIGO, 2017).

A metodologia de coleta de ar, nos dois trabalhos, seguiu o protocolo definido em Zanatta et al. (2014). Foram usadas câmaras estáticas retangulares confeccionadas em alumínio, compostas de base e topo. Na base, há um suporte que era introduzido à profundidade de 5 cm no solo, com uma canaleta na parte superior, sobre a qual era colocado o topo da câmara somente nos períodos/dias de coleta. O topo da câmara constituía-se de caixa, aberta na parte de baixo, com dimensões de 0,4 m x 0,5 m x 0,4 m, em cujo interior foram instalados dois ventiladores, com acionamento no momento da coleta, visando à homogeneização do ar. Na parte superior da caixa, foram alocados termômetro e válvula de amostragem. Para as amostragens, foram usadas seringas de polipropileno de 20 mL contendo uma válvula de retenção acoplada. As coletas de ar iniciavam às 9 horas da manhã, pelo fechamento da câmara (topo + base), com amostragens nos tempos zero, 20 min, 40 min e 60 min após o início das coletas. As seringas com o ar coletado foram acondicionadas em caixas de isopor com gel refrigerado. No laboratório de Práticas Culturais da Embrapa Trigo, as amostras de cada coleta foram transferidas para exetainers[®] (frascos de vidro) de 12 mL de capacidade, sob vácuo, e acondicionadas em 5 °C até envio para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, RS, para determinação dos GEE via cromatografia gasosa (em cromatógrafo gasoso Shimadzu GC-2014). Para o cálculo da concentração dos GEE na amostra de ar, foi aplicada curva analítica relacionando as áreas dos picos de gás padrão, obtidas no cromatógrafo, com as concentrações dos padrões (ZANATTA et al., 2014).

Em ambos estudos, as emissões totais de óxido nitroso e o consumo de metano foram convertidos em percentuais de um valor referência, de acordo com os tratamentos avaliados.

O primeiro estudo foi conduzido a partir de experimento de longa duração, instalado desde 1985 com a finalidade de avaliar o efeito de sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas sobre o rendimento de grãos de trigo e o grau de severidade das doenças radiciais mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) e podridão-comum (*Bipolaris sorokiniana*) (SANTOS et al., 2000). A medição das emissões de GEE foi realizada em dois métodos de manejo de solo: preparo convencional com arado de discos (PCd) e sistema plantio direto (SPD), em três sistemas de sucessão/rotação de culturas: 1) sucessão trigo/soja, 2) rotação ervilhaca/sorgo granífero - trigo/soja; e 3) rotação trigo/soja - ervilhaca/sorgo granífero. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. A parcela principal foi constituída pelos métodos de manejo do solo, e a subparcela, pelos sistemas de sucessão/rotação de culturas. As amostragens iniciaram em junho de 2013 e encerraram em julho de 2015, totalizando 173 coletas durante 755 dias, completando quatro safras agrícolas. Os resultados foram totalizados de acordo com a emissão no período e submetidos à análise da variância, sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.

Na Figura 1, observa-se a área experimental e o detalhe do aparato utilizado para a coleta de ar.

Para o N_2O , utilizou-se o resultado obtido no SPD como referência (100%), visando a demonstrar o impacto adicional exercido pelo plantio convencional sobre a emissão desse gás. Para o CH_4 , seguiu-se a mesma lógica, considerando que o efeito positivo em termos ambientais é para o maior consumo desse gás (representado pela oxidação de metano).

Como resultados preliminares, não foi observada interação entre os sistemas de manejo do solo e as sucessões/rotações de culturas tanto para o N_2O quanto para o CH_4 . Portanto, foram analisadas somente as médias do SPD e do PC (independente da rotação de culturas), que indicaram efeito significativo na comparação entre as médias para a emissão de N_2O e para a mitigação de CH_4 . As médias das sucessões/rotações de culturas, por não diferirem entre si, não foram discutidas neste trabalho.

Foto: Henrique Pereira dos Santos



Foto: Anderson Santi

Figura 1. A) Panorama do experimento de longa duração em sistemas de manejo do solo e de sucessão/rotação de culturas, instalado na Embrapa Trigo desde 1985, e B) aparato de amostragem de ar para avaliação da emissão de gases de efeito estufa. Passo Fundo, RS, 2017.

Na Figura 2, observa-se a contribuição relativa dos sistemas de manejo do solo na emissão de N_2O , sendo 33% mais elevada em plantio convencional que em SPD. O resultado obtido neste trabalho é semelhante aos reportados por Liu et al. (2005) e Gregorich et al. (2008), ou seja, o SPD é capaz de reduzir a emissão de N_2O , podendo contribuir para a mitigação da mudança global de clima (CERRI et al., 2007). Entretanto, alguns autores, como Menéndez et al. (2008) e Bayer et al. (2015), não observaram efeito de sistemas de manejo do solo em relação à emissão deste gás.

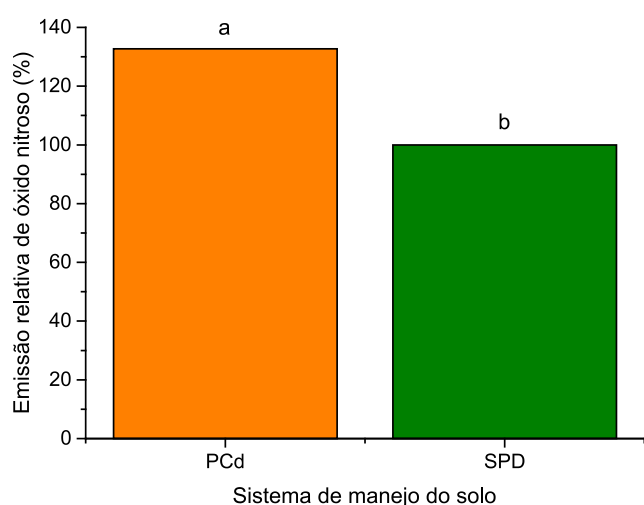


Figura 2. Emissão relativa de óxido nitroso entre sistemas de manejo do solo em plantio convencional com arado de discos (PCd) e em sistema plantio direto (SPD), em ensaio de longa duração de sucessão/rotação de culturas. Passo Fundo, RS. 2017.

Na Figura 3, é apresentada a contribuição relativa de cada sistema de manejo do solo quanto ao influxo de CH_4 , no solo. O plantio convencional apresentou consumo de metano 32% inferior ao sistema plantio direto. É comum a ocorrência de consumo de CH_4 em solos aeróbicos (não saturados de água), como resultado da oxidação deste realizada por bactérias metanotróficas aeróbicas (SMITH et al., 2003). Solos aeróbicos são sumidouros de metano e, embora sua eficiência seja marcadamente reduzida por práticas culturais (LE MER; ROGER, 2001), como a semeadura em plantio convencional (HUTSCH, 1994) e a adubação nitrogenada à base de ureia (BRONSON; MOSIER, 1994), o plantio direto pode atenuar a perda deste gás, pois sua interferência no potencial oxidante do metano do solo é menor (HUTSCH, 1994).

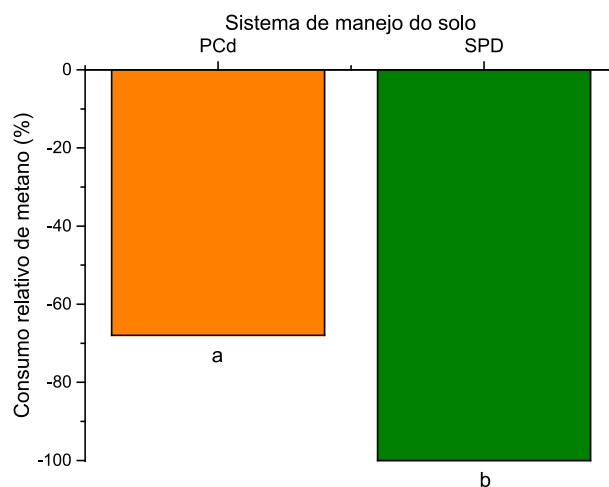


Figura 3. Consumo de metano entre sistemas de manejo do solo em plantio convencional com arado de discos (PCd) e em sistema plantio direto (SPD), em ensaio de longa duração de sucessão/rotação de culturas. Passo Fundo, RS. 2017.

Neste trabalho, observou-se que o plantio convencional contribuiu negativamente na dinâmica dos GEE, pois aumentou a perda de N_2O e diminuiu a capacidade do solo em oxidar o CH_4 . Para o período avaliado, o impacto ambiental em termos de potencial de aquecimento global, quando considerados o óxido nitroso e o metano juntos, constituiu-se na emissão líquida de $296 \text{ kg CO}_2\text{e.ha}^{-1}$ do plantio convencional (96% deste total é devido ao N_2O) a mais que o SPD, definindo este como o manejo mais eficiente na mitigação da emissão de GEE e no combate ao aquecimento global para a região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

O segundo estudo foi conduzido a partir de experimento de longa duração, instalado em 1980 para o controle da doença mal-do-pé, que assola

lavouras de trigo, cevada, centeio e tritcale quando cultivadas em monocultura (PATELLA, 1978; DIEHL, 1979, 1982). A medição das emissões de gases de efeito estufa foi realizada no SPD em sucessão de culturas (trigo/soja) e em três rotações de culturas: 1) trigo/soja - ervilhaca/sorgo granífero - aveia branca/soja, 2) ervilhaca/sorgo granífero - aveia branca/soja - trigo/soja e 3) aveia branca/soja - trigo/soja - ervilhaca/sorgo granífero (Fig. 4). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e três repetições. As amostragens iniciaram em dezembro de 2013 e encerraram em novembro de 2015, totalizando 191 coletas durante 723 dias, completando 4 safras agrícolas. Os resultados foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.



Fotos: Anderson Santi

Figura 4. Culturas avaliadas nos estudos de emissão de gases de efeito estufa, em experimento de longa duração instalado na Embrapa Trigo desde 1980. a) trigo; b) soja; c) sorgo granífero; d) detalhe do aparato utilizado para coleta de ar. Passo Fundo, RS, 2017.

Neste trabalho, são apresentados os resultados de dois anos de avaliações. As maiores emissões de N_2O ocorreram na sucessão trigo/soja e na rotação ervilhaca/sorgo granífero - aveia branca/soja - trigo/soja, que não diferiu das demais rotações. A sucessão trigo/soja emitiu 17% a 43% mais N_2O que as rotações de culturas, com média de 28% (Fig. 5).

As rotações de culturas mitigaram a emissão de óxido nitroso, principal GEE da agricultura conduzida em solos sob condições aeróbicas (JANTALIA et al., 2008). Manejos deste tipo poderiam ser aplicados, potencialmente, em 5,9 milhões de hectares que se encontram sob monocultura somente no Rio Grande

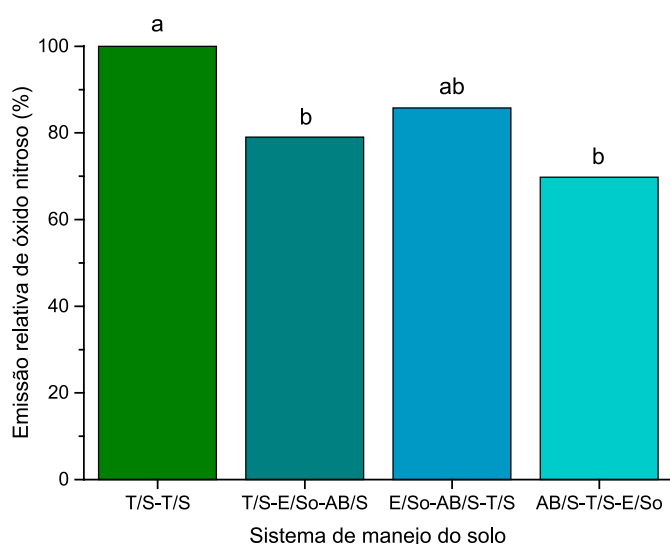


Figura 5. Emissão de óxido nitroso na sucessão trigo/soja e em rotações de culturas, em ensaio de longa duração, considerando o sistema trigo/soja como referência. Passo Fundo, RS. 2017. T: trigo, S: Soja, E: Ervilhaca, So: Sorgo, AB: Aveia Branca.

O impacto ambiental em termos de potencial de aquecimento global, quando considerados o óxido nitroso e o metano juntos, pode ser estimado como emissão líquida (em 723 dias) de 216 kg CO_2 e.ha⁻¹ a mais pela sucessão trigo/soja em relação à média das rotações de culturas, comprovando que estas possuem potencial importante na mitigação da emissão de GEE e no combate ao aquecimento global.

Estimativa da volatilização de amônia na cultura do trigo em sistema de rotação de culturas

O trigo é a principal cultura de grãos de inverno da região Sul do Brasil, onde é produzido mais de 90%

do Sul. Neste Estado, em 2013, dos 7,1 milhões de hectares cultivados na safra de verão com espécies anuais produtoras de grãos, apenas 1,3 milhão foram cultivados na safra de inverno (DENARDIN, 2016), o que demonstra o potencial ocioso de até 82% da área apta a produzir grãos e que está ignorando um dos pilares básicos do SPD, que é a diversificação de culturas.

Quanto ao metano, não houve efeito de sucessão trigo/soja ou de rotações de culturas sobre sua emissão, sendo semelhante em todos os tratamentos (Fig. 6).

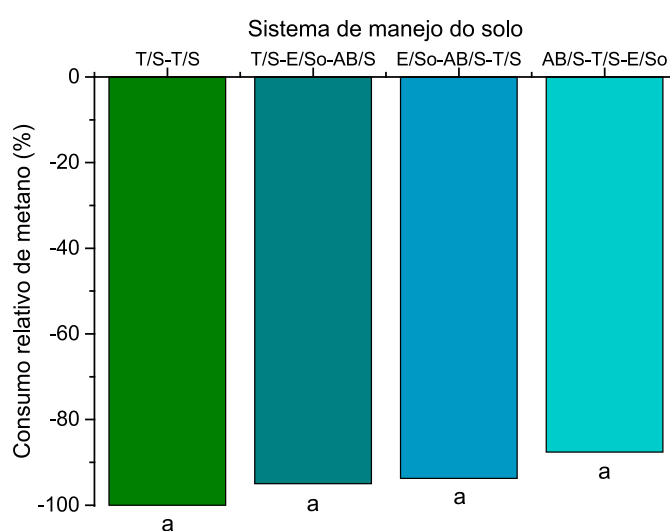


Figura 6. Consumo de metano na sucessão trigo/soja e em rotações de culturas, em ensaio de longa duração, considerando o sistema trigo/soja como referência. Passo Fundo, RS. 2017. T: trigo, S: Soja, E: Ervilhaca, So: Sorgo, AB: Aveia Branca.

do total do grão no País (IBGE, 2017). A cultura depende extremamente de fontes nitrogenadas sintéticas, e o estudo de perdas de nitrogênio por volatilização assume papel importante nos contextos ambiental e econômico. O nitrogênio é um dos elementos requeridos em maior quantidade pelas plantas e, frequentemente, sua falta causa limitação ao rendimento de grãos das culturas. Dependendo da fonte nitrogenada, da forma de aplicação e de condições ambientais, o nitrogênio tem sua eficiência reduzida por perdas associadas à lixiviação, à desnitrificação ou à volatilização. Globalmente, a perda média de nitrogênio alcança 18% do total aplicado somente na forma de amônia (NH_3), o que também implica em prejuízo econômico ao setor agrícola (PAN et al., 2016). Estas perdas resultam

em emissão indireta de óxido nitroso, poderoso gás de efeito estufa. Com base no índice padrão de emissão indireta deste gás, definido pelo IPCC (DE KLEIN et al., 2006), Pan et al. (2016) estimaram a emissão global de nitrogênio variando entre 52 milhões e 74 milhões de toneladas anuais de CO₂ equivalente.

Perdas elevadas de nitrogênio têm sido reportadas quando da utilização de ureia aplicada a lanço, variando entre 15% a 77% em milho (LARA CABEZAS; SOUZA, 2008; VIERO et al., 2014; CANCELLIER et al., 2016), e chegando a 5,5% no trigo (VIERO et al., 2014). A perda de nitrogênio por volatilização de amônia nos solos agrícolas é um dos principais fatores que afetam a eficiência da adubação nitrogenada, causando prejuízos econômicos e ambientais.

No solo, a amônia é produzida principalmente por microrganismos, com uma parcela de origem em resíduos vegetais (PAULSON; KURTZ, 1969). A dinâmica da perda de nitrogênio do fertilizante nitrogenado inicia logo após sua aplicação, com a hidrólise da ureia sendo catalisada pela enzima urease. Picos de volatilização de amônia podem ocorrer de três a cinco dias após a aplicação do fertilizante usado como fonte de nitrogênio (DUARTE et al., 2007; VIERO et al., 2014). Estas perdas têm, como catalizadores indiretos, práticas de manejo e características químicas, físicas e biológicas do solo, além das condições climáticas existentes.

Objetivou-se, com este trabalho, estimar a volatilização de amônia no trigo cultivado em sistemas de sucessão/rotação de culturas. O trabalho foi conduzido na safra de inverno de 2014, na área experimental da Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS, em experimento de longa duração instalado desde 1980, que tinha por objetivo buscar o controle da doença mal-do-pé.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram alocadas a sucessão e a rotação de culturas (T1: trigo/soja e T2: aveia branca/soja - trigo/soja - ervilhaca/sorgo granífero) e, na subparcela (parcelas de 0,25 m²), doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo (dose 1: zero; dose 2: 40 kg ha⁻¹; dose 3: 80 kg ha⁻¹; e dose 4: 120 kg ha⁻¹). Para o estudo, foi utilizada a metodologia de câmaras semiestáticas, descrita e adaptada por Jantalia et al. (2012) (Fig. 7). A adubação de cobertura foi realizada em agosto de 2014. As amostragens foram realizadas a cada três dias, durante 15 dias. A estimativa da volatilização líquida de nitrogênio-amônia nos tratamentos foi obtida ao final da avaliação, subtraindo-se da quantidade final a quantidade volatilizada no tratamento sem aplicação de nitrogênio em cobertura. Os resultados foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fotos: Anderson Santi

Figura 7. Campânulas de coleta de amônia volatilizada na cultura de trigo. a) microparcela com a campânula e o coletor; b) detalhe da campânula. Passo Fundo, RS, 2017.

Embora com elevada variação nos dados obtidos, o desdobramento da análise da variância não indicou interação entre sucessão/rotação de culturas com as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, e não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à volatilização de amônia.

A volatilização de nitrogênio-amônia foi de 3,9% e 3,5% do total aplicado para os tratamentos T1 e T2, respectivamente, indicando que essa forma de perda é relativamente baixa, pouco inferior ao apresentado por Viero et al. (2014) na região Centro-Sul do Paraná, que obteve valores próximos a 5,5%. Neste estudo, a volatilização de nitrogênio-amônia foi independente da sucessão/rotação de culturas ou da dose de nitrogênio aplicada, demonstrando que estes fatores não são relevantes na perda deste nutriente na cultura do trigo.

Como conclusões parciais, é possível constatar que o sistema plantio direto, na comparação com o plantio convencional, demonstra elevado potencial de mitigar a emissão de óxido nitroso e de metano, principais gases de efeito estufa da agricultura. Já a rotação de culturas mostra potencial de mitigar a emissão de óxido nitroso, mas não interfere no fluxo de metano, quando conduzida sob sistema plantio direto. Quanto ao nitrogênio, a volatilização de amônia na cultura do trigo independe do uso de sucessão ou de rotação de culturas.

Referências

- BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; PICCOLO, M. C.; DIECKOW, J.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems, and nitrogen fertilization in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 146, part B, p. 213-222, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC** (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 173 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências**. Publicado no D.O.U., de 30 de dezembro de 2009 - Edição extra. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 14 jun. 2017.
- BRONSON K. F.; MOSIER, A. R. Suppression of methane oxidation in aerobic soil by nitrogen fertilizers, nitrification inhibitors, and urease inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17 n. 4, p. 263-268, 1994.
- CANCELLIER, E. L.; SILVA, D. R. G.; FAQUIN, V.; GONÇALVES, B. A.; CANCELLIER, L. L.; SPEHAR, C. R. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in Brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 133-144, 2016.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.
- COOK, J.; ORESKES, N.; DORAN, P. T.; ANDEREGG, W. R. L.; VERHEGGEN, B.; MAIBACH, E. W.; CARLTON, J. S.; LEWANDOWSKY, S.; SKUCE, A. G.; GREEN, S. A.; NUCCITELLI, D.; JACOBS, P.; RICHARDSON, M.; WINKLER, B.; PAINTING, R.; RICE, K. Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 11, n. 4, 2016. 7 p.
- COSTA JUNIOR, C.; PIATTO, M. **Emissões de GEE do setor agropecuário**. [S. l.]: SEEG: Observatório do Clima: Imaflora, 2016. 89 p. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/12/WIP-16-10-07-RelatoriosSEEG-Agropecuaria.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.
- DE KLEIN, C.; NOVOA, R. S.; OGLE, S.; SMITH, K.; ROCHETTE, P.; WIRTH, T.; MCCONKEY, B.; MOSIER, A.; RYPDAL, K.; WALSH, M. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, Japan: IGES, 2006. p. 11.1-11.54.

- DENARDIN, J. E. **Desafio do plantio direto**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/9697114/artigo---desafio-do-plantio-direto>>. Acesso em: 14 fev.2017.
- DIEHL, J. A. Influência de sistemas de cultivo sobre podridões de raízes de trigo. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 5, n. 3/4, p. 134-139, 1979.
- DIEHL, J. A. **Doenças de raízes do trigo**. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1982. 15 p. (EMBRAPA-CNPT. Circular técnica, 3).
- DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F. A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 705-711, 2007.
- EMBRAPA TRIGO. **Normais climatológicas** (1961-1990): Passo Fundo Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/normais.php>>. Acesso em: 21 fev. 2017.
- GREGORICH, E. G.; ROCHETTE, P.; ST-GEORGES, P.; McKIM, U. F.; CHAN, C. Tillage effects on N₂O emission from soils under corn and soybeans in Eastern Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 88, n. 2, p. 153-161, 2008.
- HUTSCH, B. W. Tillage and land use effects on methane oxidation rates and their vertical profiles in soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, p. 284-292, 1994.
- IBGE. **Produção agrícola municipal**. 2017. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=p&o=28>>. Acesso em: 08 mar. 2017.
- 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**, Dordrecht, v. 82, n. 2, p. 161-173, 2008.
- 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**, Madison, v. 104, n. 6, p. 1595-1693, 2012.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2331-2342, 2008.
- LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Biology**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 25-50, 2001.
- LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; ZHANG, F. S. Tillage and nitrogen application effects on nitrous and nitric oxide emissions from irrigated corn fields. **Plant and Soil**, The Hague, v. 276, n. 1/2, p. 235-249, 2005.
- MENÉNDEZ, S.; LÓPEZ-BELLIDO, R. J.; BENÍTEZ-VEGA, J.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; LÓPEZ-BELLIDO, L.; ESTAVILLO, J. M. Long-term effect of tillage, crop rotation and N fertilization to wheat on gaseous emissions under rainfed Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 559-569, 2008.
- MYERS, S. S.; SMITH, M. R.; GUTH, S.; GOLDEN, C. D.; VAITLA, B.; MUELLER, N. D.; DANGOUR, A. D.; HUYBERS, P. Climate change and global food systems: potential impacts on food security and undernutrition. **Annual Review of Public Health**, Palo Alto, v. 38, p. 259-277, 2017.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46 p.
- OSBORNE, T.; ROSE, G.; WHEELER, T. Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 170, p. 183-194, March 2013.
- PAN, B.; LAM, S. K.; MOSIER, A.; LUO, Y.; CHEN, D. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 232, p. 283-289, Sept. 2016.
- PATELLA, J.F. Quinze anos de rotação com cultura do trigo. **Agros**, Pelotas, v. 13, n. 1, p. 13-26, 1978.

PAULSON, K. N.; KURTZ, L. T. Locus of urease activity in soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 33, n. 6, p. 897-901, 1969.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; LIMA, M. R. Efeito de manejos de solo e de rotação de culturas de inverno no rendimento e doenças de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 12, p. 2355-2361, 2000.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 779-791, 2003.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; ALLEY, R. B.; BERNTSEN, T.; BINDOFF, N. L.; CHEN, Z.; CHIDTHAISONG, A.; GREGORY, J. M.; HEGERL, G. C.; HEIMANN, M.; HEWITSON, B.; HOSKINS, B. J.; JOOS, B. J.; JOUZEL, J.; KATSOV, V.; LOHMANN, U.; MATSUNO, T.; MOLINA, M.; NICHOLLS, N.; OVERPECK, J.; RAGA, G.; RAMASWAMY, V.; REN, J.; RUSTICUCCI, M.; SOMERVILLE, R.; STOCKER, T. F.; WHETTON, P.; WOOD, R. A.; WRATT, D. Technical summary. In: 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, 2007a. p. 19-91. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

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, 2007b. 996 p. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.

THORNTON, P. K.; ERICKSEN, P. J.; HERRERO, M.; CHALLINOR, A. J. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. **Global Change Biology**, Oxford, v. 20, n. 11, p. 3313-3328, 2014.

TIAN, H.; LU, C.; CIAIS, P.; MICHALAK, A. M.; CANADELL, J. G.; SAIKAWA, E.; HUNTZINGER, D. N.; GURNEY, K. R.; SITCH, S.; ZHANG, B.; YANG, J.; BOUSQUET, P.; BRUHWILER, L.; CHEN, G.; DLUGOKENCKY, E.; FRIEDLINGSTEIN, P.; MELILLO, J.; PAN, S.; POULTER, B.; PRINN, R.; SAUNOIS, M.; SCHWALM, C. R.; WOFSY, S. C. The terrestrial biosphere as a net source of greenhouse gases to the atmosphere. **Nature**, London, v. 531, n. 7593, p. 225-228, 2016.

VIERO, F.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; MORAES, R. P. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in southern Brazil. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1515-1525, 2014.

ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COSTA, F. de S.; CARVALHO, A. M. de. **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 53 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 265).

Circular Técnica, 32

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Trigo
Endereço: Rodovia BR 285, km 294
Caixa Postal, 3081
99050-970 Passo Fundo, RS
Fone: 54 3316-5800
Fax: 54 3316-5802
<https://www.embrapa.br/fale-conosco>

1ª Edição
Versão online 2017

Comitê de Publicações

Comitê de Publicações da Unidade
Presidente: Mercedes Concórdia Carrão-Panizzi
Vice-presidente: Leila Maria Costamilan
Membros:
Anderson Santi, Genei Antonio Dalmago,
Paulo Roberto Valle da Silva Pereira,
Sandra Maria Mansur Scagliusi,
Tammy Aparecida Manabe Kiihl,
Vladirene Macedo Vieira

Expediente

Tratamento das ilustrações: Fátima Maria De Marchi
Editoração Eletrônica: Fátima Maria De Marchi
Normalização bibliográfica: Maria Regina Martins