



Coletânea dos Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Agricultura Brasileira



Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Coletânea dos Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Agricultura Brasileira

Missão do Mapa

Promover o desenvolvimento sustentável da agropecuária e a segurança e competitividade de seus produtos

Brasília
MAPA
2020

2020. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Todos os direitos reservados. Permitida reprodução desde que citada a fonte.

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos, ideologia dos artigos e imagens desta obra são dos autores intelectuais que os produziram. O Mapa incentiva pesquisas no tema, e sua divulgação para esclarecimentos de conceitos, perspectivas e estratégias, com vista a atender as diversas demandas do setor produtivo nacional.

1ª edição. Ano 2020

Tiragem: 1.000

Equipe técnica

Coordenação: Eleneide Doff Sotta, Elvison Nunes Ramos, Fernanda Garcia Sampaio, Juan Vicente Guadalupe Gallardo, Juliana Bragança Campos, Kátia Marzall, Mirella de Souza Nogueira Costa, Sidney Almeida Filgueira de Medeiros.

Organizadores

Dra. Eleneide Doff Sotta, Fernanda Garcia Sampaio e Dr. Juan Vicente Guadalupe Gallardo

Revisores científicos

Capítulo 1 – Ana Paula Packer, Edgar Fernando de Luca e Nilza Patrícia Ramos

Capítulo 2 – Magda Aparecida de Lima e Rogério Gonzatto

Capítulo 3 – Alan Rodrigo Panosso

Colaboradores

Andréa Nascimento de Araújo, Danielly Godiva Santana Molleta, Giovanna Lunkomoss de Christo, Lidiane Rocha de Oliveira Melo

Catálogo na Fonte

Dados internacionais de Catalogação-da-Publicação (CIP)
Catalogação na Fonte Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da agricultura brasileira / Eleneide Doff Sotta, Fernanda Garcia Sampaio, Juan Vicente Guadalupe Gallardo org. – Brasília : MAPA/SENAR, 2020.

147 p. : il. color.

ISBN 978-65-86803-34-1

1. Agricultura Sustentável. 2. Agropecuária Tropical. 3. Mudança Climática. 4. Agricultura Brasileira. I. Secretaria Nacional de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. II. Título.

AGRI P01
A01

Kelly Lemos da Silva CRB1-1880



APRESENTAÇÃO

O Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) foi criado no contexto da implementação da Política Nacional de Mudanças Climáticas – PNMC (Lei nº 12.187/2009). O Plano ABC é um dos mais importantes instrumentos da atual política agropecuária do Brasil. Com o objetivo de ampliar a área de adoção de sistemas sustentáveis de produção, o Plano ABC apresenta o compromisso concreto do setor para o enfrentamento da mudança do clima entre outros, monitorando os resultados das ações de controle das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) relacionadas à agropecuária.

A agropecuária tem uma contribuição fundamental para a segurança alimentar. Adicionalmente, os avanços observados na adoção de sistemas sustentáveis de produção agropecuária são também fundamentais para promover o adequado equilíbrio entre a geração de renda e a sustentabilidade econômica e a conservação ambiental e fornecimento de serviços ecossistêmicos. Atualmente, o setor agropecuário assume um importante papel nos esforços nacionais para o enfrentamento da mudança do clima, bem como o cumprimento do compromisso assumido pelo Brasil junto a Convenção-Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (UNFCCC, por sua sigla em inglês). Com uma sólida base científica e tecnológica, estratégia e instrumentos de política pública efetivos, e uma gestão que levou ao concreto envolvimento do setor produtivo, o Plano ABC vem apresentando resultados expressivos no que se refere ao aumento da produção agropecuária, alinhado com um controle da emissão bruta de Gases de Efeito Estufa (GEE). A implementação do Plano ABC permitiu que as emissões associadas ao setor agropecuário se mantivessem bem abaixo das metas estabelecidas inicialmente, e certamente muito abaixo do crescimento de emissões projetado sem interferência de uma política pública. Por meio do Plano ABC, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tem sido capaz de cumprir com seu papel na promoção de uma agricultura mais sustentável e com capacidade de reduzir as emissões de GEE, garantindo a segurança na produção de alimentos, com redução da vulnerabilidade à mudança do clima, fortalecimento da resiliência e da capacidade de adaptação à crescente incerteza climática, contribuindo sustentavelmente para o aumento da produção e produtividade da agropecuária brasileira.

Cada nação dispõe da sua própria história, economia e trajetória de desenvolvimento, a qual está atrelada a um nível de emissões de GEE. Esse fato confirma o princípio das responsabilidades comuns, diferenciadas, porém, segundo a economia de cada país, conforme estabelecido pela UNFCCC. Ao mesmo tempo, enfatiza a importância de determinar fatores de emissão específicos que reflitam a realidade das condições ambientais e tecnológicas encontradas no Brasil. Estabelecer fatores de emissões nacionais e setoriais é essencial para uma quantificação mais precisa de suas emissões de GEE, permitindo informações adequadas à sociedade, nacional e internacional e, sobretudo, direcionar adequadamente o desenho da política setorial nacional de enfrentamento à mudança do clima.

As estimativas de emissões e, conseqüentemente, de sua redução, controle, e capacidade de remoção, são ainda elaboradas com muitas incertezas. Ainda que não seja possível eliminar uma incerteza intrínseca a um processo bastante dinâmico, é possível aperfeiçoar a precisão dessas estimativas através do uso de melhores dados e metodologias adequadas conforme características específicas de cada setor. Para tal, é essencial a determinação de fatores de emissão específicos para a natureza de cada atividade e adequados para circunstâncias nacionais (IPCC, 2000).

Atualmente, existem no Brasil diversos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos nas universidades e instituições de pesquisa, buscando estabelecer fatores de emissão específicos para os sistemas agrícolas nacionais. No entanto, grande parte da informação gerada não é de conhecimento amplo, observando-se, nesse sentido, uma dificuldade em acessá-la. Em consequência, também é difícil reconhecer o potencial que os resultados desses estudos, bem como das informações relacionadas, pode ter para sua utilização nos cálculos de emissões nacionais. Esse fato tem levado o país frequentemente a adotar, nos seus cálculos de emissões de GEE, fatores de emissão padrão do IPCC. Ainda que válidos em uma escala global, tais fatores foram desenvolvidos a partir das realidades edafoclimáticas e tecnológicas diferentes da realidade tropical e subtropical que caracteriza a diversidade de sistemas de produção agropecuária brasileiros. Assim, o potencial de emissão, controle e remoção de GEE pelas atividades agropecuárias nacionais não necessariamente está refletido nos números obtidos.

Com o intuito de promover uma interlocução entre os diversos atores nacionais, o MAPA elaborou a presente “Coletânea de Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Agricultura Brasileira”, com a participação de diversos pesquisadores brasileiros que se dedicam ao tema.

Esta publicação apresenta um retrato objetivo, ainda que não exaustivo, do atual estado da pesquisa em relação às metodologias desenvolvidas para a definição tanto dos fatores de emissão específicos voltados às principais culturas e sistemas de produção do país, quanto das alternativas de manejo desenvolvidas para mitigação dos GEE.

As informações recolhidas nesta Coletânea provêm de insumos, de base científica, para o fortalecimento das estratégias do Plano ABC a uma agricultura sustentável, bem como para aprimorar a metodologia de quantificação de emissões e remoções de GEE do setor agrícola.

Agradecemos a todos os colaboradores e instituições que contribuíram com esta estratégia, desejando-lhes uma ótima leitura!

Tereza Cristina Corrêa da Costa Dias
Ministra da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ÍNDICE

INTRODUÇÃO **14**

Mecanismos de transparência e reporte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e as modulações de suas normas	18
Emissões de solos manejados: aspectos metodológicos e principais fontes de emissão	22
Sistemas agropecuários conservacionistas e sustentáveis	28

1. FATORES DE EMISSÃO E REMOÇÃO PARA CANA-DE-AÇÚCAR **32**

Estratégias sustentáveis para mitigação de emissões de gases de efeito estufa na produção da cana-de-açúcar	34
Efeitos da colheita sem queima da cana-de-açúcar sobre a dinâmica do carbono e as propriedades do solo	42
BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA CONVERSÃO DE ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR COLHIDAS QUEIMADAS PARA COLHEITA MECANIZADA CRUA NO BRASIL	44
Emissões de CO ₂ -C do solo antes do replantio da cana-de-açúcar no sul do Brasil	46
Desenvolvimento de indicadores para análise da sustentabilidade do cultivo da cana-de-açúcar sob irrigação nas regiões tradicionais e de expansão do nordeste	48
Remoção da palha de cana-de-açúcar e suas implicações nas emissões de gases de efeito estufa do solo no estado de São Paulo, Brasil	50
Emissões de N ₂ O devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados no cultivo de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil	52
Expansão do cultivo de cana-de-açúcar: transformação das áreas com pastagens degradadas em áreas com cana-de-açúcar e alterações nas emissões de gases de efeito estufa	54
Observação e modelagem das emissões dos gases de efeito estufa CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O, em plantação de cana-de-açúcar	56
As emissões de gases de efeito estufa de solos na cultura de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos da aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos com acúmulo de palha	58
Emissão de N ₂ O em cana-de-açúcar com aplicação de fertilizante nitrogenado e vinhaça no Cerrado	62
Paradigma no manejo da palha da cana-de-açúcar: agricultura conservacionista x cogeração de energia?	64

2. FATORES DE EMISSÃO E REMOÇÃO PARA GRÃOS **66**

Produção de grãos: estratégias para mitigar as emissões de GEE e manter a produtividade das culturas	68
--	----

Emissão de CH_4 e N_2O e potencial de sistemas de irrigação intermitente na mitigação desses gases em lavouras de arroz no estado do Rio Grande do Sul	77
Fluxos de óxido nitroso do solo sob diferentes rotações de culturas e sistemas de preparo do solo no sul do Brasil	80
Fluxos de óxido nitroso derivado da fertilização de ureia pastilhada na produção de milho cultivado em sistema de preparo convencional do solo no estado de Sergipe	82
Avaliação da emissão de metano proveniente do cultivo de arroz irrigado por inundação	84
Balanco de carbono e dinâmica de gases de efeito estufa em sistemas soja/milho, soja/sorgo, soja/milho no bioma Cerrado	86
Balanco de carbono e dinâmica de gases de efeito estufa em sistemas milho/plantas de cobertura no bioma Cerrado	88
Fluxos de óxido nitroso (N_2O) de solos sob diferentes usos do solo no Brasil	90
Impacto do manejo da adubação nitrogenada sobre a emissão de gás de efeito estufa óxido nitroso e a produtividade de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado no Cerrado	92
Avaliação de fontes de Nitrogênio (N) na redução das perdas de N por volatilização de N-NH_3 e emissão de $\text{N-N}_2\text{O}$ na cultura do feijoeiro comum irrigado sob plantio	94
Sistemas de irrigação e práticas de manejo da água como mitigadores de emissões de gases de efeito estufa em cultivo de arroz	97
Emissão de N_2O em sistemas de produção de milho sob plantio direto e plantio convencional em latossolo do Cerrado	100
Fluxos de óxido nitroso (N_2O) de solos sob diferentes usos do solo no Brasil	102
Potencial de práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal em mitigar as emissões de gases de efeito estufa em terras baixas	104
Volatilização de amônia (NH_3) e emissão de óxido nitroso (N_2O) após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho	106

3. FATORES DE EMISSÃO E REMOÇÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO E FLORESTAS PLANTADAS

108

Sistemas integrados de produção como estratégia efetiva para a sustentabilidade na agropecuária	110
Avaliação da emissão de óxido nitroso em pastagens sob manejo rotacional e contínuo na Região Sudeste do Brasil	116
Modelagem das emissões de óxido nitroso de pastagens pura de gramínea e consorciada de gramínea com leguminosa no oeste da Amazônia brasileira	118
Volatilização de amônia (NH_3) e emissão de óxido nitroso (N_2O) após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho	120

Sobressemeadura de azevém na soja para mitigar as emissões de óxido nitroso em sistema lavoura-pastagem no sul do Brasil	122
Emissão de óxido nitroso durante a decomposição de resíduos culturais de plantas de cobertura de verão em clima subtropical	124
Biomassa e estoque de carbono em árvores de eucalipto em sistemas integrados de produção pecuária	126
Balanço de carbono em propriedades rurais com plantio agrossilvipastoril	128
Emissão de CO ₂ e estoque de carbono do solo em áreas agrícolas e florestas plantadas na região do Cerrado do Mato Grosso do Sul	130
Emissões de N ₂ O, aumento do nitrogênio e redução do carbono no solo através de manejo orgânico em pomar de citros	132
Estoque de carbono orgânico e emissão de gases de efeito estufa do solo em área de campo nativo do bioma Pampa	134
Indicador de qualidade do solo em sistema pecuário integrado de baixa emissão de carbono no bioma Amazônia	136
Modelagem estatística do carbono no solo em sistema de produção especializado de integração lavoura-pecuária-floresta em Paragominas-PA	138
Emissão de gases de efeito estufa e indicadores ambientais em floresta plantada de eucalipto na região core do Cerrado	140
Anexo – Continuação bibliográfica	142

SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível
BT	Biomassa Total
BTR	Relatório Bienal de Transparência
BUR	Relatório Bienal de Atualização
C	Carbono
CaO	Óxido de Cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono Equivalente
CO ₂ eq	Carbon Dioxide Equivalent to
CF ₄	Tetrafluorometano
CFC	Cloro fluorocarbonos
CH ₄	Metano
CBDR	Responsabilidades Comuns, Porém Diferenciadas
CCN	Carne Carbono Neutro
CMS	Consumo de Matéria Seca
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COP	Conferência das Partes
DNDC	Modelo Desnitrificação-Decomposição
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPSA/WFPS	Espaço Poroso Saturado por Água (sigla em inglês: <i>Water-Filled Pore Space</i>)
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
FE	Fator de Emissão e Remoção
FEp	Fator de Emissão Padrão
GEE	Gás ou Gases de Efeito Estufa
Gg	Gigagrama
Gt	Gigatonelada
GTP	Sigla em inglês para: Potencial de Temperatura Global
ha	Hectare
HCFC	Hidroclorofluorocarbonetos
HFC	Hidrofluorocarbonetos
HNO ₃	Ácido Nítrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Intensidade de Emissão
ILA	Sigla em inglês para: Abordagem Integrada da Paisagem
ILP	Sistema de Integração Lavoura-Pecuária
ILPF	Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (sigla em inglês: <i>Intergovernmental Panel of Climate Change</i>)
Kcal	Quilocaloria
LULUCF	Sigla em inglês para: Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Silvicultura

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MOS	Matéria Orgânica do Solo
MgCO ₃	Dolomita
MME	Ministério de Minas e Energia
N	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
NATCOM	Comunicações Nacionais
NH ₃	Amoníaco ou amônia
NMVOC	Sigla em inglês para: Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos
NO	Óxido Nítrico
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
PAG	Potencial Aquecimento de Global
PCV	Plantas de Cobertura de Verão
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre (Gás Traçador Inerte)
SIP	Sistema Integrados de Produção
SPD	Sistema Plantio Direto
t	Tonelada
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (sigla em inglês: <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar

INTRODUÇÃO

Em 2020, o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, denominado Plano ABC, completa dez anos desde a sua criação. O Plano ABC tornou-se uma referência para as políticas públicas promotoras de sustentabilidade no setor agropecuário, especialmente em um período no qual temas ambientais estão nas primeiras linhas de preocupações. Essas preocupações são ainda mais reforçadas, pois a falta de condições ambientais adequadas pode ameaçar a própria manutenção da capacidade de produção agrícola. A estratégia de ação do Plano ABC levou à implementação de iniciativas que têm por objetivo garantir os fundamentais ganhos econômicos aos produtores brasileiros, mas de forma intrinsecamente alinhada com o estabelecimento de sistemas de produção que permitam aumentar sua resiliência, garantindo sua capacidade de adaptação frente a impactos externos e que controlem também as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associados ao setor. O Plano ABC, considerando seus objetivos e contextos, também se alinha com as preocupações de fortalecimento da sustentabilidade no processo de desenvolvimento nacional, em particular, na resposta aos desafios propostos internacionalmente através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em particular o ODS-2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o ODS-13 (Ação contra a Mudança Global do Clima)¹.

Em estreita parceria com a comunidade científica, e fomentando o que há de mais eficiente quanto a tecnologias sustentáveis de produção, o Plano ABC tornou-se referência mundial em termos de política pública para adaptação à mudança do clima e para controle de GEE em sistemas de produção agropecuários no âmbito dos debates de mudança do clima. O Plano ABC é construído a partir de uma sólida base científica, resultado de mais de 40 anos de consistentes investimentos em pesquisa, incorporando propostas pioneiras de inovações e tecnologias sustentáveis para a agropecuária tropical.

A transformação no processo de produção no campo se deu através do fomento e adoção das tecnologias ABC com alta aceitação pelo setor produtivo permitindo alcançar as metas propostas para o período de 2010 a 2020. Muito do sucesso alcançado é reflexo da política territorial inovadora, que permitiu arranjos locais, os quais estabeleceram Grupos Gestores Estaduais para a criação de Planos ABC estaduais em todas as unidades da Federação.

Para a comunicação dos resultados de mitigação de emissões de GEE relacionados com a adoção dos sistemas e das tecnologias ABC, faz-se necessária a contabilização das emissões e remoções de GEE. A comunicação feita oficialmente no Inventário Nacional deve seguir as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, sigla em inglês). No âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC, ou UNFCCC, em inglês), as emissões

¹ Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável; Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

agropecuárias são contabilizadas principalmente em dois setores: o 'Setor Agropecuária' (SA) e o 'Setor de Mudança de Uso da Terra'². Para esses setores, as categorias de avaliação estão predeterminadas no âmbito das guias e diretrizes que orientam os respectivos inventários nacionais.

A precisão nas estimativas das emissões de GEE depende tanto da disponibilidade como da qualidade dos dados das atividades e de seus fatores de emissão e remoção (FE). As estimativas do 'Setor Agropecuária', no último Inventário Nacional, ainda foram realizadas utilizando principalmente fatores de emissão padrão (FEp) do IPCC (2006), os quais, introduzem um nível importante de incerteza nas estimativas do setor agropecuário por serem resultado de estudos realizados em sistemas agrícolas de clima temperado.

Com o intuito de melhorar a precisão das estimativas no setor agropecuário, várias instituições de pesquisa no País vêm trabalhando no desenvolvimento de FE específicos para condições tropicais. No entanto, a informação que tem sido gerada através das diferentes pesquisas se encontra muito dispersa e é muitas vezes pouco conhecida e/ou acessada por órgãos oficiais do governo responsáveis pela política do setor agropecuário.

A Coordenação Geral de Mudanças Climáticas (CGMC), do Departamento de Produção Sustentável e Irrigação, da Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no âmbito do Projeto ABC e com o propósito de contribuir para a diminuição dessas incertezas, elaborou a presente publicação, intitulada "Coletânea dos Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Agricultura Brasileira.

Assim, a presente coletânea tem como objetivo reunir os avanços do conhecimento científico em relação à geração de FE específicos para as condições nacionais e também às estratégias ou alternativas propostas pelos pesquisadores para mitigar as emissões de GEE nos sistemas de produção, nas diferentes regiões do País. Os pesquisadores e os grupos de pesquisas nacionais foram convidados a apresentar seus dados conforme um roteiro orientador, gerando informações com uma linguagem mais técnica e menos científica, contendo ainda apontamentos de soluções e desafios para a temática. Assim, esta obra está organizada em três capítulos, a saber: I. Cana-de-Açúcar; II. Grãos; e III. Sistemas Integrados de Produção e Florestas Plantadas, nos quais se apresenta o estado da pesquisa baseado nos resultados que foram obtidos e implementados em diferentes projetos e iniciativas. Dessa maneira, o documento recolhe uma valiosa informação, de base científica, que, além de enriquecer a base de conhecimentos no tema das estimativas de GEE no setor agropecuário, tem o intuito de fortalecer os processos de discussão interinstitucional para a construção e/ou o aprimoramento das políticas direcionadas a garantir uma agricultura sustentável.

² Mais detalhes sobre este processo estão descritos nos textos de Mozzer & Bueno (p. 16) e Christo & Santos (p. 20), presentes nesta coletânea.

A informação mostra que há uma maior concentração de estudos nas Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país, representados em 35 registros dos 52 coletados. Contudo, mais de 50% dos registros (26) localizam-se nas Regiões Sul e Sudeste, o que indica que nessas regiões há um claro esforço institucional, público e/ou privado direcionado a fomentar ou apoiar a pesquisa na temática de emissões de GEE em sistemas de produção agrícola. Isso é evidente no estado de São Paulo, onde, a partir de uma combinação de esforços de universidades e centros de pesquisa, vêm sendo desenvolvidas pesquisas para identificar as estratégias de manejo para uma produção mais sustentável da cana-de-açúcar e do etanol e, assim, dar soluções a um setor que tem um papel relevante no cenário nacional e internacional.

A variedade de valores de FE dos principais GEE da agricultura brasileira – N_2O e CH_4 – encontrados na revisão dos trabalhos apresentados nesta coletânea bem como de outros estudos que não estão aqui incluídos, evidencia a alta influência que possui o tipo de tratamento e/ou prática de manejo aplicada no nível de emissões de um sistema de produção. Além disso, a diferença de valores para os sistemas de produção de culturas desenvolvidas em condições de manejo, de ambientes e de solo similares mostra a importância de se trabalhar na geração de valores regionalizados de FE para as principais culturas e sistemas de produção do País. Assim, contribui-se para eliminar as incertezas derivadas do uso de FE padrão do IPCC e consequentemente melhorar a precisão das estimativas nacionais de GEE do setor agrícola.

Esse contexto mostra que é importante continuar investindo recursos para o desenvolvimento da pesquisa relacionada às estratégias de mitigação de GEE e, especificamente, à geração de FE, para, assim, consolidar a atual base de conhecimentos e, sobretudo, ampliá-la através da implantação de novos projetos de pesquisa nas Regiões Norte e Nordeste do País.

Os resultados apresentados são provenientes de estudos realizados em diversas realidades e biomas brasileiros. A grande diversidade dos estudos apresentados e sua abrangência nacional permitem verificar a amplitude de como a temática está sendo tratada no Brasil, bem como o grande esforço já realizado e o volume de material disponível sobre o tema. Sabemos, entretanto, que a presente Coletânea não representa exaustivamente todas as pesquisas existentes dedicadas ao tema e que outros grupos de pesquisa também estão empenhados em contribuir nesse processo.

Apesar dos recentes avanços da pesquisa, ainda há uma grande demanda por dados que sejam obtidos por métodos reconhecidos pela comunidade científica e por quem possam subsidiar de forma técnica as melhores estratégias voltadas ao desenvolvimento sustentável da agropecuária. A proposta da coletânea é divulgar as informações de forma simples e acessível ao público, estimulando questionamentos e sugestões de novas estratégias, assim como a utilização dos dados científicos como subsídios para a tomada de decisões.

Embora os resultados do levantamento de informação não abranjam todo o universo da pesquisa que está sendo feita no País, eles sinalizam alguns aspectos de muita importância sobre o estado da produção científica, os quais podem vir a ser um insumo importante para o desenvolvimento de políticas para uma agropecuária sustentável. Esses aspectos estão relacionados com a regionalização ou concentração geográfica da pesquisa, com o foco temático que está se seguindo e com a amplitude de valores dos FE de GEE para uma mesma categoria de emissão dentro de uma região específica.

A presente publicação é uma iniciativa do MAPA, apoiado pelos Ministérios das Relações Exteriores (MRE) e da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), em parceria com o Banco Mundial, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), realizada no âmbito do Projeto ABC Cerrados. Seu resultado só foi possível graças à efetiva participação de pesquisadores e pesquisadoras que compartilharam seus trabalhos, com vistas a contribuir com a sustentabilidade do setor agropecuário brasileiro.

Boa leitura!

Mecanismos de transparência e reporte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e as modulações de suas normas

Gustavo Barbosa Mozzer¹; Adriana Mesquita Corrêa Bueno¹

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

O Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em junho de 1992, a qual foi ratificada pelo Congresso Nacional em 1994. Igualmente, foi o primeiro país a estabelecer uma Autoridade Nacional Designada (AND) para a Convenção – o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

O principal compromisso decorrente da UNFCCC é a necessidade de transparência e reporte, que se traduz na estruturação de um sistema nacional para elaboração periódica de Comunicações Nacionais (NATCOM) e de Inventários Nacionais de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa (GEE) não Controlados pelo Protocolo de Montreal (conforme art. 4º e art. 12 da Convenção). Esse sistema também é fundamental para o armazenamento da base de dados e de recálculos e para a implementação de um processo contínuo de melhoria e refinamento, que possibilita o avanço dinâmico na qualidade dos inventários alinhado ao desenvolvimento do conhecimento científico e à disponibilidade de dados.

Para permitir análises e revisões técnicas transparentes e confiáveis, a Convenção estipula que os inventários empreguem, preferencialmente metodologias comparáveis, que são propostas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e acordadas pela Conferência das Partes (COP). Os países desenvolvidos, referidos como Anexo I no contexto da UNFCCC, têm o compromisso adicional de apresentar seus inventários anualmente, além de passarem por um criterioso processo de revisão que inclui a sistematização dos dados necessários para a estimativa das emissões nacionais de GEE na forma de um padrão tabular comum: CRF (Common Reporting Format). A justificativa para a diferenciação no nível de compromissos adicional de países desenvolvidos, acordado no contexto da Convenção, foi justificada em razão da diferença histórica entre a contribuição de países Anexo I e dos Não Anexo I (países em desenvolvimento) nas emissões de GEE por meio do princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas (CBDR), conforme art. 3º. Isto é, embora haja compromisso de todas as Partes de enviar esforços para estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera, países Anexo I possuem uma responsabilidade superior àquela dos países Não Anexo I.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é composto por cientistas de 195 países e, ao longo dos últimos 31 anos, desenvolveu três aprimoramentos das diretrizes metodológicas para a elaboração de inventários nacionais: i) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; ii) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories e iii) 2006

IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Ademais, produziu outros documentos e dois guias de boas práticas sobre incerteza e uso da terra e florestas (LULUCF). Em 2019, o IPCC propôs uma revisão das Diretrizes de 2006, intitulada 2019 Refinement to the 2006 IPCC *Guidelines on National Greenhouse Gas Inventories*¹.

A estrutura do inventário é, basicamente, composta por: arranjos institucionais, documentação de métodos e dados, descrição de procedimentos de garantia e controle de qualidade (QA/QC), descrição de sistema de arquivo, análise de categorias-chave (KCA) e plano de melhorias. Ainda, o inventário é dividido em quatro setores: energia; processos industriais e uso de produtos (IPPU); tratamento de resíduos e agricultura, florestas e uso da terra (AFOLU). Para mensuração das emissões e remoções, um país deve identificar as atividades que contribuem com emissões ou remoções de GEE e estimar, por meio de fatores de emissão ou de remoção, o tamanho de cada uma dessas contribuições, além de potenciais sumidouros que colaborem para a remoção de GEE.

Dados de atividade é uma medida quantitativa de um nível de atividade que contribui para emissões de GEE; já os fatores de emissão ou remoção são coeficientes que relacionam os dados da atividade às emissões ou remoções inerentes. O princípio geral das guias metodológicas é permitir a extrapolação a partir de dados de atividade e fatores de emissão ou remoção, derivando em emissões ou remoções de GEE associadas a um processo ou uma operação.

Os cálculos de emissões e remoções envolvem três níveis hierárquicos de métodos que variam em complexidade de dados padrão e equações simples ao uso de dados e modelos específicos que acomodem as circunstâncias nacionais de cada país. O primeiro nível, ou Tier 1, representa o primeiro degrau neste plantel e tem o objetivo fundamental de viabilizar a estimativa de emissões quando muito poucas ou mesmo nenhuma informação esteja disponível. O cálculo de estimativas de emissões utilizando Tier 1 representa, sem sombra de dúvidas, a grande maioria das estimativas apresentadas em inventários de gases de efeito estufa e seu uso é considerado adequado salvo para categorias classificadas como chave² em razão do nível (valor relativo de emissões) ou da tendência. Em qualquer um destes casos o uso de métodos mais sofisticados é recomendado.

O cálculo de emissões utilizando Tier 1 foi concebido pelo IPCC para viabilizar estimativas conservadoras³ de emissões de gases de efeito estufa para setores relevantes da economia. Nos guias metodológicos de 2006, as árvores de decisão apresentadas em cada um dos capítulos devem ser criteriosamente seguidas no processo de escolha metodológica e também durante a posterior fase de revisão. Por esta mesma razão, estimativas de remoções não podem ser feitas utilizando métodos Tier 1, haja visto que a postura mais conservadora, neste caso, é não contabilizar remoção alguma no inventário.

O Tier 2 representa o nível metodológico em que, dados de atividade ou fatores de emissões domésticos são utilizados para a estimativa das emissões. O uso de um método Tier 2 implica na substituição dos pressupostos conservadores adotados no nível anterior (Tier 1) por dados que sejam representativos e fidedignos da realidade nacional. Neste caso, Tier 2 representa a porta de entrada para uma avenida de complexificação e desagregações que podem ser feitas em razão da existência de dados domésticos e do interesse do país. Já o Tier 3 representa um nível mais sofisticado de análise⁴ que variará de acordo com o setor e a categoria, mas, em geral, pode ser representado por estimativas de emissões baseadas em dados de modelos matemáticos ou estimativas baseadas em dados colhidos no nível das unidades fabris ou plantas instaladas.

Cinco princípios estruturantes determinam a forma como inventários de GEE devem ser elaborados,

¹ A metodologia atualizada contribui para aprimorar o processo de transparência e geração de relatórios, garantindo que a metodologia usada para determinar esses inventários se baseie na ciência mais recente.

² A análise de categorias-chave (KCA) é um exercício fundamental na preparação do inventário. Essa questão será detalhada mais abaixo.

³ Estimativas conservadoras sob a ótica da UNFCCC para inventários de gases de efeito estufa significam, no contexto da curva de distribuição dos dados, a franja superior contendo as observações com emissões mais expressivas.

⁴ O uso de métodos Tier 3, nos casos em que estimativas de emissões são calculadas com base em modelos, é notoriamente uma forma de preservar dados sensíveis, evitando, assim, a exposição aberta de fatores de emissões inerentes à aplicação do método Tier 2.

em particular como fatores de emissões e de remoções devem ser estabelecidos assim como dados de atividade devem ser estruturados. Esses princípios também regem a forma como é operado todo o processo de revisão⁵. São eles: Transparência, Acurácia, Consistência, Comparabilidade e Completude (TACCC); i) a Transparência diz respeito à clareza das premissas e metodologias que devem ser claramente explicadas e documentadas; ii) a Acurácia envolve a precisão das estimativas de emissões e remoções, incluindo todas as medidas adotadas para a redução de incertezas; iii) a Consistência relaciona-se à natureza do conjunto de dados, com uma série histórica consistente em que, preferencialmente, são utilizadas as mesmas metodologias e premissas na série temporal⁶; iv) a Comparabilidade descreve a necessidade de assegurar que as estimativas calculadas em um inventário sejam comparáveis entre as estimativas publicadas por outras Partes da Convenção em seus respectivos inventários; e v) a Completude determina que todas as fontes de emissões de GEE sejam inventariadas e reportadas.

Cada país deve estabelecer um ponto focal para desenvolver um sistema nacional de inventário e produzir as NATCOM; no Brasil a Coordenação Geral do Clima⁷ (CGCL), do MCTI, exerce este papel⁸. É papel deste ponto focal estruturar os arranjos institucionais para o estabelecimento de uma equipe técnica capaz de assegurar a elaboração, o armazenamento e a organização das bases de dados. O sistema de arquivo⁹ deve permitir o acesso às séries históricas e garantir a aplicação de procedimentos de controle de qualidade (QA/QC)¹⁰, análise de categorias-chave (KCA) e o plano de melhoria¹¹ do inventário.

O estabelecimento de um sistema de arquivo robusto que permita, de forma dinâmica, o acesso a todas as referências, metodologias, opiniões de especialistas, revisões e aos cálculos para toda a série histórica do inventário, é essencial para garantir a transparência e a consistência dos dados reportados. A KCA, por sua vez, é fundamental para apontar a necessidade de priorização de esforços e, particularmente, identificar áreas que devem ser inventariadas utilizando dados de atividade e fatores de emissão ou remoção específicos para o país. A execução de QA/QC é fundamental para a implementação de um processo contínuo de melhoria do inventário.

O Brasil tem conferido importância estratégica ao compromisso de apresentar suas comunicações nacionais; até o momento, já submeteu três NATCOM (2004¹², 2010¹³ e 2016¹⁴), tendo o Inventário Nacional como anexo. Como parte dos arranjos institucionais estabelecidos para o desenvolvimento dos inventários nacionais do Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desempenham papel fundamental na pesquisa e coleta de dados voltados ao estabelecimento de dados de atividade e fatores de emissão e remoção. A compilação desses elementos e a preparação inicial do capítulo de agricultura do Inventário Nacional também estão sob responsabilidade do MAPA e da Embrapa, assim como apoiar o ponto focal do inventário em aspectos relacionados aos demais setores, quando necessário e oportuno.

⁵ Revisões são conduzidas anualmente por equipes de peritos (ERT) organizados de forma equilibrada entre representantes de países Anexo I e não Anexo I. Existem três modelos de revisão: Revisões Centralizadas, em que equipes se reúnem na sede da UNFCCC, em Bonn, para revisar múltiplos inventários de uma só vez; Revisões in loco (in country) em que uma equipe de revisores se reúne no país para revisar detalhadamente o inventário e o sistema nacional; e Revisão no Escritório (Desk Review), quando por alguma razão um dos revisores não pode participar de uma das modalidades anteriores.

⁶ As séries temporais têm início no ano base, determinado pelo país ou podem, alternativamente, iniciarem em qualquer tempo caso emissões dessa categoria não estejam presentes no ano base.

⁷ Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/index.html>.

⁸ Uma categoria chave é aquela que é priorizada no sistema de inventário nacional porque sua estimativa influencia significativamente o inventário total de GEE de um país em termos de nível absoluto, tendência ou incerteza nas emissões e remoções (IPCC, 2006).

⁹ No Brasil, o sistema de arquivos denomina-se Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) e é coordenado pelo MCTI. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/textogeral/sirene.html>.

¹⁰ O que diferencia o QA (garantia de qualidade) do QC (controle de qualidade) é que o primeiro é efetuado por avaliadores externos à equipe de inventário, enquanto que o QC é realizado de forma rotineira pela própria equipe encarregada pela elaboração do inventário nacional.

¹¹ O plano de melhoria tem por objetivo incrementar a qualidade dos cálculos e dados utilizados na compilação do inventário e contribui para o já mencionado processo contínuo de melhoria dos inventários.

¹² 1ª NATCOM – volume único Disponível em: <https://unfccc.int/documents/66128>.

¹³ 2ª NATCOM – volumes 1 e 2 Disponível em: <https://unfccc.int/documents/69067>.

¹⁴ 3ª NATCOM – volumes 1, 2 e 3 e Sumário Executivo Disponível em: <https://unfccc.int/documents/66129>.

Ao longo dos anos, o processo de negociação tratou de modular a forma original como as questões de Transparência e Comparabilidade foram tratadas no contexto da Convenção e, neste sentido, a COP 13, por meio do Caminho de Bali¹⁵, estabeleceu em 2007 os relatórios bienais de atualização (BUR). O BUR objetiva reportar ações desenvolvidas em âmbito doméstico para controlar emissões de GEE, bem como necessidades e apoio recebido. Para países Anexo I, sua análise é feita por meio de avaliação e revisão internacional (IAR)¹⁶; já para países Não Anexo I, o processo é feito por meio de consulta e análise internacional (ICA)¹⁷. Desde então, o Brasil apresentou três BURs: em 2014¹⁸, 2017¹⁹ e 2019²⁰.

Com a entrada em vigor do Acordo de Paris²¹, em 2020, um novo ciclo de modulação novamente buscará incrementar a Transparência e a Comparabilidade do mecanismo de reporte da Convenção, trata-se da Estrutura de Transparência Aprimorada (ETF). Este novo processo reduz a diferença existente entre Países Anexo I e Não Anexo I em termos de obrigações de revisão, instituindo um único modelo de revisão técnica de peritos (TER). O novo padrão deverá unificar o modelo de reporte em uma base de dados comum, definindo critérios compatíveis sob os quais os inventários serão tabulados de acordo com um Formato Tabular Comum (CTF). Adicionalmente, o processo de aumento global da ambição (GST), estruturado pelo Acordo de Paris, visará aprimorar a governança global, impondo dinamismo a um processo continuado de incremento da ambição assim exercendo pressão para que as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) reflitam a necessidade global de ambição e estimulem o incremento dos esforços domésticos.

Até janeiro de 2022, as Partes da Convenção deverão encaminhar seus últimos BURs, que serão analisados até o início de 2024, ano em que ocorrerá a transição para o modelo de reporte na forma da Estrutura de Transparência Aprimorada. A partir daí, todos os países deverão passar, periodicamente, a apresentar seus Relatórios Bienais de Transparência (BTRs). Nos próximos anos, os impactos políticos advindos do GST e da implementação do Acordo de Paris marcarão a transição para a ETF, que se traduzirá em novas obrigações de inventário e escrutínio do sistema nacional para países Não Anexo I. Portanto, é importante que o Brasil se prepare de forma robusta para continuar a implementar melhorias em seu inventário, consolidar o sistema nacional, gerar e sistematizar dados de atividades e fatores de emissão e remoção específicos, conformando-se com o CTF, planejar um processo contínuo de melhoria do inventário e preparar-se para os ciclos de revisão técnica do ETF.

Referência bibliográfica

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

Contato dos autores

Dr. Gustavo Mozzer
Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas – Embrapa;
e-mail: gustavo.mozzer@embrapa.br

Dra. Adriana Mesquita Corrêa Bueno
Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas – Embrapa;
e-mail: adriana.bueno@embrapa.br

¹⁵ Disponível em: <https://unfccc.int/process/conferences/the-big-picture/milestones/bali-road-map>.

¹⁶ International Assessment and Review Disponível em: <https://unfccc.int/IAR>.

¹⁷ International Consultation and Analysis Disponível em: <https://unfccc.int/ICA>.

¹⁸ 1º BUR Disponível em: <https://unfccc.int/documents/180611>.

¹⁹ 2º BUR Disponível em: <https://unfccc.int/documents/180612>.

²⁰ 3º BUR Disponível em: <https://unfccc.int/documents/193513>.

²¹ Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.

Emissões de solos manejados: aspectos metodológicos e principais fontes de emissão

Giovanna Lunkmoss de Christo¹; Mauro Meirelles de Oliveira Santos¹

¹Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

O Brasil instituiu a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei no 12.187/2009, que define o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas para 2020. Segundo o Decreto no 7.390/2010, que regulamenta¹ a PNMC, a projeção de emissões de GEE para 2020 foi estimada em 3,236 Gt CO₂eq. Dessa forma, a redução correspondente aos percentuais estabelecidos para esse ano encontra-se entre 1,168 Gt CO₂eq e 1,259 Gt CO₂eq, respectivamente.

Como país signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC, ou UNFCCC na sigla em inglês), e para atender a Política Nacional de Mudança do Clima, o Brasil tem como uma de suas principais obrigações a elaboração e atualização periódica do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa Não Controlados pelo Protocolo de Montreal. O Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) é o órgão responsável por elaborar, atualizar e prover as informações das emissões de GEE nacionais.

A elaboração do inventário segue, como diretriz técnica básica, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), que traz orientações metodológicas para a elaboração de inventário nacionais. Dentro do Inventário, são contabilizadas as emissões de cinco setores: Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), Agropecuária, Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas (LULUCF) e Resíduos, trazendo uma visão geral das emissões dos principais setores econômicos do País. Um setor de destaque, é o setor Agropecuária, que em 2016 representou 34% das emissões nacionais em termos de CO₂e².

As emissões do setor Agropecuária compreendem as emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) de cinco subsetores, que são: Fermentação Entérica, Manejo de Dejetos, Cultivo de Arroz, Solos Manejados e Queima de Resíduos Agrícolas, sem contar os GEE indireto³. A partir do Quarto Inventário Nacional, que seguirá as metodologias do IPCC 2006, serão incorporados mais dois subsetores: Calagem e Aplicação de Ureia, responsáveis por emissões de dióxido de carbono (CO₂). O primeiro, era contabilizado no setor LULUCF; o segundo, no subsetor da

¹ Substituído pelo Decreto 9.578, de 2018.

² Métrica utilizada: GWP/SAR. Dados da 5ª Edição das Estimativas, que podem ser acessados em <https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/publicacao/index.html>.

³ Monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC) (IPCC, 2006).

indústria química, dentro do setor Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU). De modo geral, as estimativas do setor Agropecuária são calculadas a partir de dados nacionais como população e caracterização animal, consumo de fertilizantes sintéticos e orgânicos, produção agrícola, tecnologias utilizadas para o manejo de dejetos, entre outros. Dados das séries históricas, em sua maioria, são adquiridos de fontes oficiais, como do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Um dos subsetores de destaque no setor Agropecuária é o de Solos Manejados, que, em 2016, contribuiu com 36% das emissões totais do setor (BRASIL, 2019)⁴. Essas emissões são decorrentes do processo de nitrificação e desnitrificação pelo aumento da quantidade de Nitrogênio (N) no solo, em função da utilização de insumos e do manejo das plantas e do solo, o que resulta em emissões diretas e indiretas de N_2O . No Brasil, a agricultura tem sido cada vez mais intensificada, com crescente utilização de insumos como fertilizantes e adubos orgânicos e operações agrícolas, abrangendo uma área acima de 60 milhões de hectares de lavouras e 160 milhões de hectares de pastagens em 2016 (IBGE, 2017a).

De acordo com IPCC (2006), as emissões de N_2O pelo manejo de solos⁵ podem acontecer de forma direta ou indireta (Figura 1), em decorrência do incremento de N no solo. As emissões diretas de N_2O , são resultantes da aplicação de fertilizantes sintéticos e adubos orgânicos; da deposição e incorporação de resíduos de colheita de cultivos e da renovação de pastagens; da deposição de dejetos não manejados de espécies do rebanho nacional (p.e. em pastagens); da mineralização de N resultante da perda de matéria orgânica do solo; e do manejo de solos orgânicos. As emissões indiretas de N_2O também ocorrem pelas mesmas fontes de N das emissões diretas (excluindo o manejo de solos orgânicos) e são causadas quando as moléculas de nitrogênio “se movem” do local onde foram depositadas ou mineralizadas e são convertidas em N_2O em um novo local, resultando em uma “perda de nitrogênio”. A perda de nitrogênio ocorre através da volatilização (o N se transforma em vapor e se move pelo ar) e da lixiviação (o N na água é drenado pelos solos e cursos de água).

Em suma, as emissões pelo manejo dos solos são calculadas a partir da estimativa de cada uma das fontes de N incorporadas ao solo, separadamente, isto é:

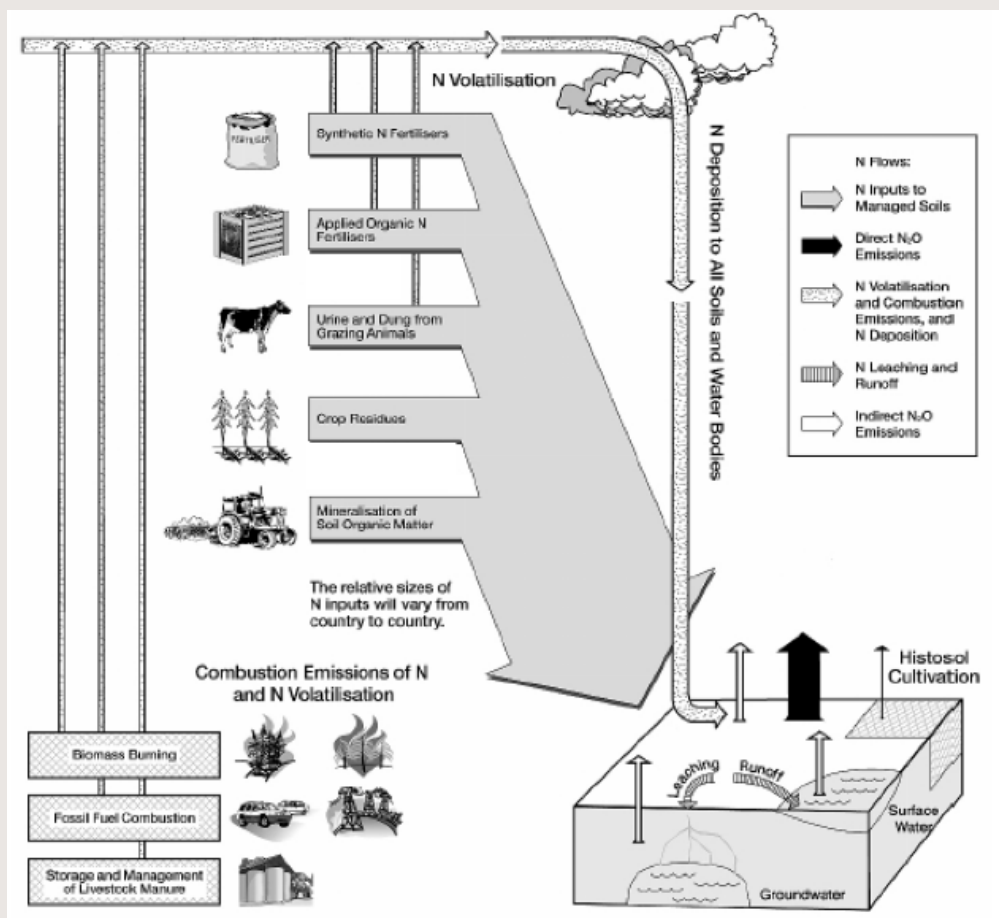
- I. fontes de N relacionadas com o manejo do solo (aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos, deposição e incorporação de resíduos de colheita de cultivos e da renovação de pastagens e N mineralizado resultante da perda de matéria orgânica do solo);
- II. fontes de N de solos orgânicos;
- III. fontes de N pela deposição de dejetos diretamente em pastagem.

Após o cálculo da quantidade de N de cada uma das fontes identificadas, multiplica-se por um fator de emissão, específico para cada uma das categorias de emissão, para então chegar-se no cálculo final de emissão de N_2O direto e indireto.

⁴ Em termos de CO_2eq (GWP/SAR). Resultados da 5ª edição das Estimativas (BRASIL, 2020). Em termos de CO_2e (GWP/SAR). Resultados da 5ª Edição das Estimativas (BRASIL, 2019). Até essa publicação, o subsetor era chamado de Solos Agrícolas.

⁵ Metodologia utilizada para a estimativa de emissões de Solos Manejados no Quarto Inventário Nacional, baseada no IPCC (2006), e que traz algumas atualizações metodológicas em relação as edições anteriores.

Figura 1 - Diagrama que ilustra as fontes e vias de N que resultam em emissões diretas e indiretas de N_2O pelo manejo de solos



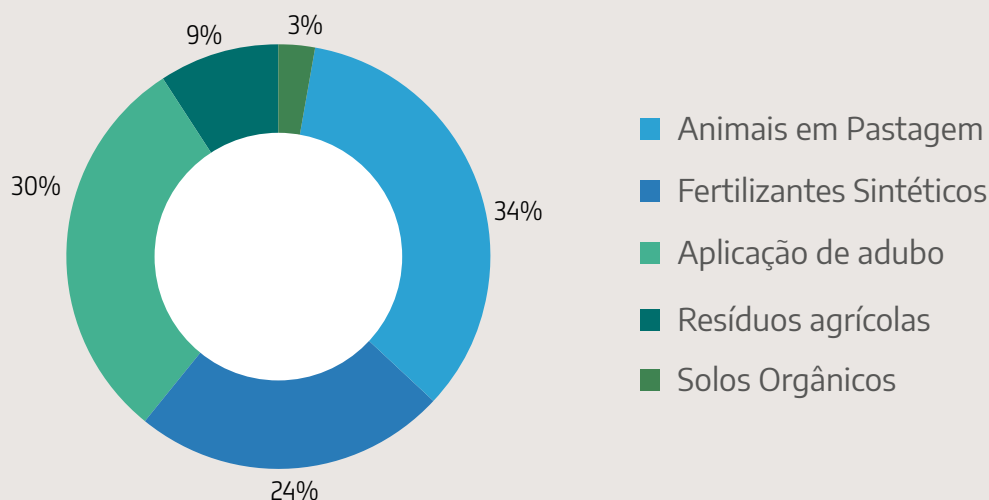
Fonte: IPCC (2006).

Para o cálculo, de um modo geral, utilizam-se dados nacionais (desagregados em Unidade da Federação ou região), como população animal, tipo de sistema de tratamento de dejetos, produção agrícola, consumo de fertilizante sintético, área de pastagem e de solos orgânicos cultivados, e além de uma gama de parâmetros da literatura. Esses dados e parâmetros são utilizados no cálculo de cada uma das fontes de N, que são multiplicados por fatores de emissão default do IPCC, para se chegar no resultado final de N_2O .

Em 2016, as emissões diretas representaram 62% e as indiretas, 38% (estas divididas em 8% pela deposição atmosférica e 30% pela lixiviação) da emissão total em Solos Manejados (BRASIL, 2019). Nesse ano, a maior fonte de emissão de uma única fonte foi a de animais em

pastagem, pela deposição de dejetos diretamente no solo, contribuindo com 34% das emissões do subsetor (sendo a categoria animal de bovino de corte a mais representativa). A segunda maior fonte de emissão foi a aplicação de adubos orgânicos, com contribuição de 30% das emissões do subsetor (considerando diretas e indiretas). As outras emissões pela aplicação de fertilizantes sintéticos, resíduos agrícolas incorporados ao solo e manejo de solos orgânicos contribuíram com uma parcela menor de emissão, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Contribuição de cada categoria de emissão, em termos percentuais, do subsetor Solos Manejados (emissões diretas e indiretas).



Fonte: Brasil (2019).

Como forma de exemplificar, para a contabilização das emissões pela deposição de dejetos no solo, seja diretamente por animais em pastagem, seja pela sua aplicação como adubo orgânico, os principais dados considerados são: o peso animal, o fator de excreção por cabeça animal e o tipo de destinação/ tratamento do dejetos animal, além do dado de atividade, que neste caso é a população animal (desagregada por idade, sexo e tipo confinamento). Para a estimativa da emissão, primeiramente calcula-se a quantidade de N excretada, para cada categoria animal, ano e Unidade da Federação. Posteriormente multiplica-se o resultado calculado por um fator de emissão, específico para cada animal e categoria de emissão, para quantificar a quantidade de N que é convertida em N_2O (que difere para emissões diretas e indiretas).

No Brasil, a maior parte do dejetos gerado por bovinos diretamente no solo não é manejado, isto é, é depositado diretamente em pastagens. Apenas bovinos de corte confinados e bovinos leiteiros possuem parte de seu dejetos destinado a algum tipo de tratamento, para posterior utilização como fertilizante orgânico. Parâmetros como peso e fator de excreção exercem grande influência no resultado de emissão – quanto maior for o peso animal, maior será sua excreção, e consequentemente, maior será a emissão de N_2O atrelada. A metodologia IPCC (2006) propõe um fator de emissão único de 2% para todo o N excretado por animais (inclusive bovinos) diretamente no solo, o que indica que 2% de todo o N excretado pelos animais seriam

emitidos diretamente na forma de N_2O . No entanto, resultados encontrados em literatura nacional (CARDOSO, 2012; LESSA, 2011; SORDI, 2012) e internacional (YAMULKI *et al.*, 1998; VAN DER WEERDEN *et al.*, 2011; ROCHETTE *et al.*, 2014) indicam que há diferenças entre emissões de N_2O de dejetos de bovinos depositados em pastagens oriundas de urina e fezes, devendo estas serem desagregadas. Por conta disso, após uma revisão bibliográfica de valores nacionais para fezes e urina, chegou-se em um fator de emissão médio de 1,5%, que está sendo adotado no Quarto Inventário Nacional.

O manejo de solos agrícolas é a principal fonte de N_2O para a atmosfera, 85% do total do país, e sua geração é influenciada por vários fatores que podem ser modificados pelas práticas de manejo agrícola. O N incorporado ao solo é o mais importante desses fatores e está diretamente relacionado à deposição de dejetos no solo e à aplicação fertilizantes nitrogenados, que tem influência direta com o aumento da produtividade da pecuária nacional e da produção agrícola. De 2010 a 2016, houve um aumento de 12,7% das emissões em Solos Manejados no Brasil (BRASIL, 2019), reflexo do aumento de cerca de 18% da área de cultivo agrícola (culturas permanentes e temporárias) (IBGE, 2017a), e cerca de 4% de cabeças animais, no mesmo período (IBGE, 2017). Portanto, se, por um lado, o uso de fertilizantes nitrogenados é importante para garantir um maior desempenho agrícola, por outro lado isso acarreta emissões de N_2O para a atmosfera. O uso na dose certa, sem desperdícios, é um desafio e uma forma de mitigação de GEE.

O cálculo das emissões pelo manejo de solos é complexo e requer uma ampla gama de dados, parâmetros e fatores de emissão. Sua complexidade se torna ainda maior, quando aplicada ao caso do Brasil, por considerar as particularidades de cada Unidade da Federação, desde condições específicas de clima, solo, culturas agrícolas e categorias animais (que, no caso de bovinos de corte, há a desagregação por idade, sexo e tipo de confinamento; e, para os de leite, por produtividade). Desta maneira, observa-se a importância de estudos e pesquisas nesta área, a fim de obter dados e fatores mais próximos do real, para as diferentes regiões do território nacional. Outro ponto importante é explorar as demandas de N e as emissões de N_2O , tentando encontrar práticas de gerenciamento para maximizar o rendimento do solo e das plantas, e minimizar as emissões de N_2O .

Referências bibliográficas

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Secretaria de Políticas para a Formação e Ações Estratégicas. Coordenação-Geral do Clima. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 5. ed. Brasília: MCTIC, 2020.

CARDOSO, Abmael da Silva. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil central. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Pecuária Municipal 1990-2016. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas/brasil/2016>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal 1990-2016. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), 2017a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

LESSA, Carolina da Rocha. Emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia de urina e fezes bovinas em pastagens. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

ROCHETTE, P. et al. Soil nitrous oxide emissions after deposition of dairy cow excreta in Eastern Canada. *J. Environm. Quality*, v. 43, p. 829-841, 2014.

SORDI, André. Emissão de óxido nitroso a partir de urina e esterco de bovinos a pasto. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VAN DER WEERDEN, T. J. et al. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils. *Agric. Ecosys. Environ.*, v. 141, p. 426-436, 2011.

YAMULKI, S.; JARVIS, S. C.; OWEN, P. Nitrous oxide emissions from excreta applied in a simulated grazing pattern. *Soil Biol. Biochem.*, v. 30, p. 491-500, 1998.

Contato dos autores

Giovanna Lunkmoss de Christo
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações;
e-mail: giovana.christo@mctic.gov.br

Mauro Meirelles de Oliveira Santos
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações;
e-mail: mauro.santos@mctic.gov.br

Sistemas agropecuários conservacionistas e sustentáveis

Luiz Adriano Maia Cordeiro^{1,2}; Elvison Nunes Ramos²

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa; ²Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Atualmente, a humanidade enfrenta desafios cada vez maiores para produzir alimentos, fibras, energia, produtos madeireiros e não madeireiros de forma compatível com a disponibilidade de recursos naturais, em especial solo e água. Por isso, são intensos os apelos para que seja difundida em todo o mundo a concepção da agricultura sustentável (CORDEIRO *et al.*, 2015).

Os desafios para suprir as demandas da sociedade por alimentos e, ao mesmo tempo, preservar os recursos naturais para o século XXI incluem: I. o aumento da produção agrícola para satisfazer as necessidades alimentares de mais de 3,5 bilhões de pessoas nos países em desenvolvimento; II. a produção de biomassa lignocelulósica por meio de cultivos de espécies para a produção de agroenergia; III. a conversão de solos degradados e de áreas desertificadas em áreas recuperadas; IV. o sequestro de carbono em solos e o uso de biomassa para compensar emissões e estabilizar as concentrações de CO₂ e outros gases de efeito estufa (GEE); V. o desenvolvimento de sistemas de cultivo que melhorem a eficiência do uso da água e minimizem sua poluição, contaminação e eutrofização; e VI. a criação de áreas de reserva para a preservação de espécies e o aumento de valores estéticos da paisagem (LAL, 2009).

A agricultura sustentável é um conceito e uma meta em si, pois traz uma ampla visão da agricultura contemporânea. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 1988), é definida como o manejo e a conservação dos recursos naturais e a orientação de mudanças tecnológicas que assegurem a satisfação das necessidades humanas para a presente e as futuras gerações. É uma agricultura que conserva o solo, a água e os recursos genéticos animais, vegetais e microrganismos, não degrada o meio ambiente, é tecnicamente apropriada, economicamente viável e socialmente aceitável.

Mais recentemente, a FAO (2014, p. 12) relatou sua visão para alimentos e agricultura sustentáveis, sendo a de um mundo em quais alimentos são nutritivos e acessíveis a todos e os recursos naturais são gerenciados de uma forma que mantém as funções dos ecossistemas para oferecer suporte atual, bem como futuras necessidades humanas. Em nossa visão, fazendeiros, pastores, pescadores, silvicultores e outros moradores rurais têm a oportunidade de participar ativamente e se beneficiar de desenvolvimento econômico, ter condições de emprego decentes e trabalhar em um ambiente de preço justo. Mulheres, homens e comunidades rurais vivem em segurança e têm controle sobre seus meios de subsistência e acesso equitativo aos recursos que podem usar de forma eficiente.

Por sua vez, a agricultura conservacionista é aquela praticada segundo os preceitos da ciência da conservação do solo. Compreende um complexo de tecnologias de caráter sistêmico com a finalidade de preservar, manter, restaurar ou recuperar os recursos naturais. Pode ser entendida como a agricultura eficiente ou efetiva na utilização dos recursos disponíveis e

baseia-se em: redução ou eliminação da mobilização de solo; manutenção da cobertura de solo; aporte de material orgânico em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo; ampliação da biodiversidade mediante o cultivo de múltiplas espécies cultivadas (rotação, sucessão ou consorciação de culturas); diversificação de sistemas agrícolas produtivos (sistemas agropastoris, agroflorestais, silvipastoris, agrossilvipastoris, etc.), entre outros fatores (DENARDIN *et al.*, 2014).

Existem vários sistemas de produção que contemplam esses preceitos, como por exemplo, o Sistema Plantio Direto (SPD), que se consolidou como uma das maiores revoluções da agricultura tropical sustentável. Em solos sob SPD, ocorrem: aumento dos teores de carbono e de Matéria Orgânica do Solo (MOS); melhoria na estrutura; maior infiltração e retenção de água; e, principalmente, menor perda de solo por erosão (DERPSCH *et al.*, 1991; BAYER; MIELNICZUK, 2008). Dessa forma, observam-se maior tolerância a veranicos e aumento da produtividade de grãos ao longo do tempo.

Uma das formas de melhorar a estrutura do solo é a inclusão de espécies forrageiras, especialmente gramíneas, nos sistemas de produção; ou seja, a rotação de culturas anuais e pastagens é uma das melhores alternativas para se obter um manejo sustentável do solo e da água nos trópicos (LAL, 1991). As pastagens bem manejadas têm a capacidade de, frequentemente, aumentar o teor de MOS para acima dos níveis originais observados, com vegetação nativa. Durante 13 anos de cultivo de soja sob preparo convencional do solo, o teor de MOS reduziu-se 24,4% em relação ao valor original (que era de 3,6%). Por sua vez, a inclusão de *Brachiaria humidicola* no sistema, manejada sob cortes, aumentou continuamente o teor de MOS durante os nove anos de avaliação, passando a valores acima de 4,0% (SOUZA *et al.*, 1997).

Além disso, os sistemas de integração também se constituem em excelentes alternativas de sistemas agropecuários sustentáveis. Esses sistemas integram as atividades agrícola, pecuária e/ou florestal na mesma área ou gleba, formando um único sistema, por meio da consorciação, da sucessão e/ou da rotação de culturas ou atividades. Segundo Balbino *et al.* (2011), os sistemas de produção em integração podem ser classificados em quatro modalidades: I. Integração Lavoura-Pecuária (ILP), ou sistema agropastoril; II. Integração Pecuária-Floresta (IPF), ou sistema silvipastoril; III. Integração Lavoura-Floresta (ILF), ou sistema silviagrícola; e, IV. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), ou sistema agrossilvipastoril.

Segundo Cordeiro *et al.* (2015), os sistemas de produção em integração propiciam diversos benefícios, como: aumentos de produtividade dos componentes vegetais e animais; melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, em virtude do aumento da MOS; aumento do estoque de carbono no solo; redução da pressão de desmatamento de novas áreas pelo efeito poupa-terra; promoção da recuperação de pastagens degradadas; estabilidade econômica e aumento da renda com a diversificação das atividades; redução de custos a médio e longo prazo; redução da vulnerabilidade aos riscos climáticos; e melhoria na qualidade de vida do produtor e sua família. Por todos esses aspectos e pelo fato de que, com a adoção dos sistemas em integração, é possível ampliar o aproveitamento dos fatores de produção de forma sinérgica e da oferta ambiental das áreas agrícolas entre 90% e 100% do tempo, pode-se concluir que tais sistemas se caracterizam como estratégias eficientes de intensificação sustentável do uso dos solos nas regiões tropicais.

Historicamente, diferentes políticas públicas promovem o fomento de sistemas agropecuários conservacionistas e sustentáveis. Certamente, a principal delas é o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), que é um dos planos setoriais elaborados de acordo a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que colocou o setor agropecuário num outro patamar em termos do potencial de contribuição para a mitigação dos gases causadores de mudanças climáticas, para a promoção da adaptação dos processos produtivos e das comunidades rurais, com elevação da resiliência. Esse plano se destina a incentivar a adoção de sistemas de produção sustentáveis que assegurem a redução de emissões de GEE e elevem simultaneamente a renda dos produtores rurais, sobretudo com a expansão das seguintes tecnologias: Recuperação de Pastagens Degradadas; Sistemas de Integração (ILP, ILF, IPF e ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); Sistema Plantio Direto (SPD); Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN); Florestas Plantadas; e, Tratamento de Dejetos Animais (BRASIL, 2012).

Outras iniciativas procuram aumentar a valorização da adoção de sistemas sustentáveis de produção agropecuária, como, por exemplo, a certificação Carne Carbono Neutro (CCN). Trata-se de uma marca-conceito que visa atestar a carne bovina que tiver seus volumes de emissão de GEE neutralizados, durante o processo de produção, pela presença de árvores em sistemas de integração do tipo silvipastoril (IPF) ou agrossilvipastoril (ILPF), por meio de processos parametrizados e auditados. Além disso, visa garantir, pela presença de sombra, que os animais foram produzidos com elevado bem-estar e conforto térmico. Uma parceria com o frigorífico Marfrig permitirá que essa carne certificada com emissões de metano neutralizadas chegue ao mercado consumidor no Brasil e no exterior (ALVES *et al.*, 2015; EMBRAPA, 2016).

Portanto, pode-se afirmar que a adoção de diferentes sistemas agropecuários conservacionistas e sustentáveis tem elevada capacidade de conservar o solo e melhorar sua qualidade, bem como a sua capacidade de estocar carbono e água e, dessa forma, promover significativo aumento do potencial produtivo com menores custos de produção e maior conservação ambiental.

Referências bibliográficas

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A. (ed.). Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2015. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. i-xii, out. 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. rev. e atualiz. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

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: ACS/ MAPA, 2012.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, jan./ago. 2015.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; COGO, N. P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (ed.). Agricultura conservacionista no Brasil. Brasília: Embrapa, 2014. p. 23-42.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, Plantio Direto e preparo conservacionista do solo. TZ-Verag, Rosdorf: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH/IAPAR, 1991. (Sonderpublikation der GTZ, n. 245).

EMBRAPA. Technological Solutions. Marca-Conceito Carne Carbono Neutro (CCN). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3488/marca-conceito-carne-carbono-neutro>.

FAO – Food and Agriculture Organization. Report of the FAO Council, 94th Session, 1988.

FAO – Food and Agriculture Organization. Building a common vision for sustainable food and agriculture: principles and approaches. Roma: FAO, 2014.

LAL, R. Soil conservation and biodiversity. In: HAWKSWORTH, D. L. (ed.). The biodiversity of microorganisms and invertebrates: its role in sustainable agriculture. Wallingford: CAB International, 1991. p. 89-103.

LAL, R. Laws of sustainable soil management. In: LICHTFOUSE, E.; NAVARRETE, M.; DEBAEKE, P.; SOUCHÈRE, V.; ALBEROLA, C. (ed.). Sustainable agriculture. London: Springer; France: EDP Sciences, 2009. p. 9-12.

SOUSA, D. M. G.; VILELA, L.; REIN, T. A.; LOBATO, E. Eficiência da adubação fosfatada em dois sistemas de cultivo em um latossolo de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

Contato dos autores

Luiz Adriano Maia Cordeiro
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
e-mail: luiz.cordeiro@agricultura.gov.br

Elvison Nunes Ramos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
e-mail: elvison.ramos@agricultura.gov.br

1

FATORES DE EMISSÃO E REMOÇÃO PARA CANA-DE- AÇÚCAR



Estratégias sustentáveis para mitigação de emissões de gases de efeito estufa na produção da cana-de-açúcar

Juan Vicente Guadalupe Gallardo¹; Nilza Patrícia Ramos²; Edgar Fernando de Luca³; Ana Paula Packer²; Katia Marzall⁴; Fernanda Garcia Sampaio^{2,4}; Eleneide Doff Sotta^{4,5};

1 Consultor autônomo em mudanças climáticas e agropecuária; 2 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária– Embrapa Meio Ambiente; 3 Instituto Florestal do Governo do Estado de São Paulo; 4 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 5 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária– Embrapa;

O Brasil ocupa a primeira posição na produção mundial de cana-de-açúcar, respondendo por cerca de 40% do volume de colmos global desde 2008 (FAO, 2018). Esse protagonismo é resultado do intenso esforço do setor canavieiro em expandir áreas e aumentar a produtividade, mas especialmente da diversificação de produtos gerados na cadeia, que incluem não só o açúcar, a cachaça e o etanol, mas também a energia elétrica, as leveduras e os vários outros derivados da química verde (ALVES *et al.*, 2015). Destaca-se ainda o aproveitamento da vinhaça, da torta de filtro e das cinzas, na forma de fertilizantes (ROSSETTO *et al.*, 2008), evitando a entrada de mais recursos externos ao sistema produtivo.

Na última década, a produção nacional de colmos aumentou 13,6%, passando de 645,3 Mg de colmos em 2008 para 746,8 Mg em 2018 (FAO, 2018). Desse montante, cerca de 46% do açúcar total recuperável (ATR) se destinava à produção do açúcar, uma commodity de alta demanda no mercado internacional, sendo o restante dividido entre etanol anidro (21%) e hidratado (34%) (CONAB, 2019). Entretanto, em 2018, com a entrada em vigor do RenovaBio (Lei 13.576/2017), uma política brasileira de biocombustíveis que premia produtores com maior eficiência energética-ambiental (BRASIL, 2019a), o etanol hidratado passou a consumir sozinho 45% do ATR, resultando em 23 bilhões de litros (CONAB, 2019). Esse crescimento evitou emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) em função da substituição do consumo da gasolina, que é um combustível derivado do petróleo, pelo etanol, que é renovável (EPE, 2016; BORDONAL *et al.*, 2018).

O fato de produzir biocombustível com baixa pegada de carbono e bioeletricidade gerada a partir de resíduo agroindustrial (bagaço) confere ao setor sucroenergético um papel relevante na implementação de estratégias de mitigação das mudanças climáticas, tanto no cenário nacional como no internacional (POPIN *et al.*, 2019). No âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, em inglês), especificamente no Acordo de Paris, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir em 43% as emissões de GEE em relação aos níveis de 2005 até o ano 2030 (BRASIL, 2019b), além de aumentar a parcela de energia renovável na matriz energética do País.

O Brasil se comprometeu em reduzir as emissões, para atingir as metas acordadas, internalizando políticas nacionais para implementação de uma economia de baixa emissão de carbono, estabelecendo estratégias nacionais para implementar esses compromissos. No setor do transporte, por exemplo, há interesse de ampliar a participação dos biocombustíveis para 18% na matriz energética até 2030 e de reduzir em 37% as emissões de carbono até 2025, tendo como referência o ano de 2005 (BRASIL, 2019a). No entanto, para que isso se viabilize, estima-se ser necessário quase duplicar a produção atual de etanol (~ 28 bilhões de

litros) para cerca de 50 bilhões de litros e muito provavelmente expandir a atual área de 8,4 Mha plantados com cana-de-açúcar (CONAB, 2019) em 3 milhões de hectares (BRASIL, 2019c), seguindo princípios de bom desempenho ambiental.

Nos últimos anos, a produção da cana-de-açúcar tem se modificado para fortalecer sua sustentabilidade ambiental, incluindo a extinção da queima em mais de 91% das áreas colhidas no Brasil (CONAB, 2019); o uso de planos de aplicação de vinhaça, principalmente no estado de São Paulo; a redução na erosão em função da manutenção da palha após a colheita do canavial sem o uso da queima (MARTINS FILHO *et al.*, 2009; CARVALHO *et al.*, 2017); a recuperação de áreas de proteção permanente; entre outras medidas. Associada a essas práticas se verifica de modo predominante, ainda, a expansão do cultivo da cana sobre áreas de pastagens degradadas, reduzindo, assim, a competição pelo uso da terra e a pressão sobre a floresta (BORDONAL *et al.*, 2018).

Avançar no desenvolvimento tecnológico de setor, fomentando a implementação de soluções de inovação é de grande importância para incrementos positivos no desempenho ambiental do setor sucroalcooleiro, especialmente na categoria referente à mudança do clima, tendo em vista que 81-90% do total de emissões de GEE da produção de etanol, por exemplo, estão relacionadas com a etapa agrícola da cana-de-açúcar (SEABRA *et al.*, 2011; GARCIA SPERLING, 2017). Figueiredo (2012) recomenda que, com relação à definição de estratégias de redução das emissões de GEE do setor da cana-de-açúcar, diferentes cenários de produção sejam simulados e estudados, visando à sustentabilidade da produção e à promoção de benefícios diretos e indiretos para a sociedade, tendo como efeito menores emissões de GEE, de modo concomitante ao maior retorno econômico.

Segundo o Inventário Nacional (IN) de GEE realizado para a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC, as emissões que estão associadas com a produção da cana-de-açúcar estão descritas de forma desagregada – com valores envolvendo a queima prévia à colheita (Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas), o uso de fertilizantes nitrogenados (Subsetor Fertilizantes Sintéticos ou Fertilizantes Orgânicos) e a decomposição dos resíduos deixados no campo (Subsetor Manejo de Solo/Emissões Diretas/Resíduos Agrícolas) – e são contabilizadas como emissões de CH_4 e N_2O . As emissões de CO_2 da queima de resíduos não são consideradas no IN, porque, após sua emissão, há também a reabsorção durante o crescimento da planta através da fotossíntese.

As emissões de CH_4 geradas pela queima de resíduos, principalmente da palha da cana-de-açúcar (BRASIL, 2016), estão consideradas no IN como emissões remanescentes, com apenas 1,5% (185,3 Gg de CH_4) do volume total das emissões de CH_4 do Setor Agropecuária. A Região Sudeste foi a que em 2010 mais contribuiu para essas emissões, representando 55,2% do total de emissões no período; seguida pela Centro-Oeste, que contribuiu com 20,6%; e a Norte, com apenas 0,4%. Entretanto, apesar de, no IN, ser informado o volume de contribuição de cada fonte de emissão desse gás, não são apresentadas as considerações metodológicas referentes aos fatores de emissão utilizados.

Em 2010, as emissões totais (diretas e indiretas) de N_2O oriundas do uso de fertilizantes nitrogenados e da decomposição das serapilheiras formadas pelos resíduos de colheita foram 452 Gg. Considerando apenas as emissões diretas (282 Gg de N_2O), as maiores fontes emissoras foram: I. excrementos depositados no solo durante o pastejo dos animais (170 Gg = 60%); II. derivados da aplicação de fertilizantes nitrogenados (35 Gg = 13%); e III. provenientes da decomposição de resíduos da cana-de-açúcar (5,5 Gg = 1,9%) (BRASIL, 2016). Para as estimativas de emissões dessas três fontes, foram utilizados os fatores de emissão padrão do IPCC.

Cabe destacar que, até o presente momento, as estimativas oficiais das emissões de CH_4 e de N_2O relacionadas à cana no Brasil são calculadas segundo a abordagem metodológica Tier 1. Cabe ressaltar que as diretrizes metodológicas do IPCC (2006) provêm tanto orientações para o uso do nível da abordagem metodológica (Tier) como para o uso de FEp do IPCC. Para a IV Comunicação Nacional em vias de lançamento, a disponibilização de fatores de emissão nacional fomenta a alteração para Tier 2, tornando-os cálculos mais robustos e com menor incerteza.

A diminuição das incertezas com a implementação de dados de emissões específicos do país ou região, vem sendo implementada por diferentes grupos de pesquisas, que vêm trabalhando para levantar fatores de emissão específicos às condições locais de clima e solos, os quais permitam um cálculo mais aprimorado das emissões geradas para o setor no IN, utilizando Tier 2. Além disso, as pesquisas envolvendo práticas de manejo mais eficientes para aumento de rendimento de colmos – e que, ao mesmo tempo, permitam mitigar GEE na produção de cana-de-açúcar – também são uma contribuição para melhorar os cálculos das emissões de GEE do setor no IN.

No presente capítulo, são apresentados resultados de pesquisa de FE de GEE da cana-de-açúcar e de avanços tecnológicos nos sistemas de produção para redução de emissões de GEE. Nota-se uma concentração de resultados com cana-de-açúcar na Região Sudeste, que já era esperado, pois ela abarcava 64% do total de colmos produzidos no Brasil em 2019 (CONAB, 2019). São Paulo é o estado com maior número de pesquisadores envolvidos nessa empreitada, com esforços de diferentes universidades e centros de pesquisa, como a Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a Universidade Estadual Paulista (UNESP), o Centro de Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), o Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP), a Embrapa Meio Ambiente, entre outros.

Através das diferentes contribuições desta coletânea, pode-se evidenciar os importantes avanços realizados no conhecimento de práticas dos sistemas de manejo da cana-de-açúcar, avanços estes necessários para garantir uma produção mais sustentável dessa cultura, tais como a colheita mecanizada sem queima, a manutenção/remoção parcial da palha após colheita, a redução da frequência do preparo do solo em áreas de cana colhida crua, a fertirrigação com N por gotejamento subsuperficial, entre outros.

A seguir, são apresentadas de maneira resumida algumas das contribuições recebidas que mostram o estado atual da pesquisa e os fatores de emissão encontrados nas condições locais dos estudos.

Aderson *et al.* (p. 56) compararam as emissões de N_2O decorrentes da aplicação de doses de N em cana-de-açúcar fertirrigada por gotejamento subsuperficial, com as resultantes da adubação convencional (via solo) na fase de cana-planta colhida sem queima. Foi constatado que o sistema de produção de cana-de-açúcar sob fertirrigação promove menor emissão de N_2O , em comparação ao sistema que adota adubação convencional via solo. Os tratamentos fertirrigados com 60 e 120 kg N ha^{-1} apresentaram reduções de 40,6 e 50,2%, respectivamente, nas emissões acumuladas de N_2O ao longo do ciclo, em relação aos seus correspondentes de adubação via solo. Os fatores de emissão determinados para a fertirrigação foram em média

próximos (1,69%) ao valor do IPCC, enquanto que, para a adubação convencional, estiveram acima (4,26%) do valor do estabelecido pelo IPCC (1%).

Em estudo sobre as emissões de GEE resultantes da adição de insumos nitrogenados sintéticos, Bordonal *et al.* (p. 58) avaliaram as emissões de N_2O e CH_4 do solo derivadas da adubação com nitrogênio sob diferentes cenários de remoção da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Os resultados apontaram que os fluxos de CH_4 foram muito baixos para todos os locais avaliados, independentemente dos cenários de remoção de palha, mas que as emissões de N_2O foram significativamente afetadas pela remoção da palha para os locais avaliados, variando de 0,20 a 4,09 kg N_2O ha⁻¹ ano⁻¹, indicando que a remoção da palha reduz as emissões de N_2O . Os fatores de emissão de N_2O foram altamente variáveis entre os locais, indo de 0,05 a 1,44% do N aplicado. Os autores recomendam a realização de outras pesquisas para melhor entendimento desse resultado, considerando que o uso do fertilizante sintético nitrogenado, combinado à aplicação de vinhaça, é uma prática de manejo usual no setor sucroenergético e pode aumentar significativamente as emissões de N_2O .

Signor *et al.* (p. 60) avaliaram também o efeito da fertilização nitrogenada de origem sintética, com ureia e nitrato de amônio, aplicados nas doses de 0, 60, 90, 120 e 180 kg ha⁻¹, sobre as emissões de N_2O no cultivo de cana-de-açúcar em dois locais da Região Centro-Sul do Brasil, um em Piracicaba-SP e o outro em Goianésia-GO. Verificou-se que as emissões de N_2O são dependentes da dose de N aplicada e do tipo de fertilizante. Os fatores de emissão de N_2O variaram em função tanto das fontes de N como do local onde o experimento foi conduzido. Os autores concluíram que, devido à grande variação na proporção do N emitido na forma de N_2O , confirma-se a dificuldade de se usar, para todas as situações, um valor de fator de emissão preestabelecido.

Em experimentos conduzidos por Carmo *et al.* (p. 62), foram avaliadas as emissões de CO_2 , N_2O e CH_4 em áreas de: I. pastagem extensiva; II. pastagem extensiva reformada; e III. pastagem extensiva convertida em cana-de-açúcar com manejo convencional, com e sem aplicações de fertilizantes nitrogenados. Nesse estudo, observou-se que a intensidade no aumento das emissões de GEE tem uma dependência das condições ambientais e das práticas de manejo adotadas. O fator de emissão estimado para a pastagem reformada foi três vezes maior do que o valor estimado pelo IPCC (1%), indicando que esse valor para cana-de-açúcar pode estar subestimado diante da crescente taxa de aplicação de fertilizantes no País e também diante do fato de que, no Brasil, é uma prática frequente a aplicação de vinhaça com fertilizantes nitrogenados, como a ureia.

Packer *et al.* (p. 70), em experimentos realizados em Araras (ARA) e Iracemápolis (IRA), na safra 2012/2013, e em Guaíra (GUA), na safra 2014/2015, todos no estado de São Paulo, em cana de 1ª soca em GUA e IRA e de 3ª soca em ARA, avaliaram o efeito da remoção (parcial ou total) da palha sobre o solo na emissão de GEE, principalmente de N_2O , a partir da adubação nitrogenada. Para isso, foram obtidos os fatores de emissão de N_2O do fertilizante nitrogenado aplicado em dose de 0 e 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de amônio (adubação de soqueira), na ausência ou presença de palha até 12 Mg ha⁻¹. Os resultados mostraram que o FE foi bastante baixo na ausência de palha (0,03 a 0,10% do N aplicado), mas esse valor aumentou para 0,48 a 0,54%, quando 12 Mg ha⁻¹ de palha foram mantidos sobre o solo. No entanto, para ambos, os casos os valores de FE para o fertilizante nitrogenado foram inferiores ao padrão do IPCC de 1%.

Na revisão dos resultados dos estudos da presente coletânea, bem como de outros estudos similares realizados no País, pode-se observar que há uma variedade de valores de FE para o cálculo de emissões diretas de N_2O na cana-de-açúcar, que vão, por exemplo, de valores de 0,05% até 4,59% em tratamentos com aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos, e o valor-padrão definido pelo IPCC de 1%.

No quadro a seguir são mostrados os diferentes valores de FE encontrados para a cultura da cana-de-açúcar:

Quadro 1: Valores de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa encontrados para a cultura da cana-de-açúcar em diferentes estudos no Brasil.

Cultura: cana-de-açúcar				
Tratamento	Fator de emissão de N ₂ O (%)		Localização (UF)	Referência (Autores)
	FE**			
Aplicação do fertilizante nitrogenado em sulcos de plantio e na camada superior de palha	<	0,46 ± 0,33	São Paulo	Siqueira Neto et al., 2016
Aplicação de vinhaça	<	0,65 ± 0,29		
Aplicação de torta de filtro	<	0,13 ± 0,04		
Aplicação de fertilizante nitrogenado com vinhaça, sem irrigação	<	0,05 ± 0,006	Distrito Federal	Fonseca da Silva et al., 2017
Aplicação de vinhaça, sem irrigação	>	1,11 - 4,59		
Remoção de resíduos com aplicação de fertilizante nitrogenado e inibidor de nitrificação	~	0,12 - 1,44	São Paulo	Gonzaga et al., 2018
Aplicação de fertilizante sintético e orgânico e da aplicação de resíduos de palha nas emissões do solo			São Paulo	Carmo et al., 2012
Nitrato de amônio + sem vinhaça	~	0,68 - 2,03		
Nitrato de amônio + com vinhaça	~	0,59- 3,03		
Na planta da cana				
Ureia + sem vinhaça	>	1,1		
Ureia + com vinhaça	>	2,65		
Plantio direto	<	0,20		
Preparo reduzido do solo	<	0,25		

Cultura: cana-de-açúcar				
Tratamento	Fator de emissão de N ₂ O (%)		Localização (UF)	Referência (Autores)
	FE**			
Uso de fertilizante mineral na conversão de pastagens extensivas em cana-de-açúcar e na intensificação das pastagens remanescentes			São Paulo	Carmo et al.* (p. 62)
Pastagem (sem preparo) somente com aplicação de fertilizante	<	0,41		
Pastagem extensiva com preparo do solo (reformada) e aplicação de fertilizante	>	3,36		
Preparo convencional do solo para plantio de cana-de-açúcar, com aplicação de fertilizante	<	0,46		
Diferentes cenários de remoção dos resíduos de palha			São Paulo	Bordonal et al.* (p. 58)
Total remoção (TR)	<	0,28		
Alta remoção (AR)	<	0,44		
Baixa remoção (BR)	<	0,70		
Sem remoção (SR)	<	0,56		
Aplicação de diferentes doses de N (kg ha ⁻¹) por fertirrigação e adubação convencional			Piauí	Andrade Júnior et al.* (p. 56)
Fertirrigado – 60	>	2,87		
Convencional – 60	>	4,26		
Fertirrigado – 120	>	1,69		
Convencional – 120	>	3,77		
Efeito da manutenção da palha sobre o solo na emissão.			São Paulo	Packer et al.* (p. 70)
Ausência de palha	<	0,03 - 0,10		
4,3 e 7,7 Mg ha ⁻¹ de palha	<	0,13 - 0,17		
12 Mg ha ⁻¹ de palha	<	0,48 - 0,54		

Fonte: própria autoria.

Legenda: * Informação extraída das contribuições dos pesquisadores desta coletânea; ** onde, em relação ao valor-padrão do IPCC (2006) de 1% para N₂O são :< = abaixo do padrão; > = acima do padrão; e ~ = intermediário em relação ao padrão.

Essa variedade de valores mostra, por um lado, a relação direta que existe entre o tipo de tratamento e/ou prática de manejo agrícola e as condições ambientais em que eles são determinados e o nível de emissões de N₂O; por outro lado, mostra a evidência científica da alta sensibilidade a que estão sujeitos os cálculos de emissões de GEE para o setor da cana-de-açúcar, pelo fato do uso do valor-padrão do IPCC (1%) nas estimativas feitas no IN.

Embora esses resultados não abranjam todo o universo da pesquisa que está sendo feita no País, eles demonstram o efetivo esforço da comunidade científica em gerar resultados que permitam subsidiar a avaliação das emissões de GEE com dados mais representativos das práticas adotadas e das condições edafoclimáticas. Dados regionalizados permitem considerar as condições em que são aplicados os tratamentos ou considerar os sistemas de manejo similares e, conseqüentemente, melhorar a precisão nas estimativas nacionais, gerando ainda subsídios para serem alcançadas práticas que permitam maior sustentabilidade dos sistemas de produção. Por outro lado, os resultados sinalizam também a necessidade de serem realizados estudos mais específicos e aprofundados, que permitam validar e complementar os resultados até agora obtidos, simulando cenários de manejo nas diversas regiões do País, incluindo diferentes níveis e fontes de fertilizantes, visando obter respostas que garantam a sustentabilidade da produção da cana-de-açúcar.

Referências bibliográficas

ALVES, M. et al. Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel. *Energy*, v. 91, p. 751-757, 2015.

BORDONAL, R. D. O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, v. 38, n. 13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: MCTI, 2016. v. 3.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: MRE, 2019b. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/ficha-pais/11915-contribuicao-brasil-indc-27-de-setembro>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Documentos: perguntas e respostas. Brasília: MME, 2019c. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-bicombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio/documentos/perguntas-e-respostas>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. RenovaBio: nota explicativa sobre a proposta de criação da política nacional de biocombustíveis. Brasília: MME, 2019a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36224/459938/Nota+Explicativa+RENOVABIO+-+Documento+de+CONSOLIDACAO+-+site.pdf/dc4b6756-d7ca-ab6a-4aac-226c4b8bf436>.

CARMO, J.B.D. et al. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. *GCB Bioenergy*, n. 5, p. 267-280, 2013. Doi:10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x.

CARVALHO, J. L. N. et al. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. *Glob. Change Biol. Bioenergy*, n. 9, p. 1181-1195, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12410>, 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2019/20: terceiro levantamento. Brasília: CONAB, 2019. v. 6, n. 3. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. O compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas: produção e uso de energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Top 10 country production of sugar cane 2018. FAOSTAT. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity.

FIGUEIREDO, Eduardo Barretto de. Balanço de gases de efeito estufa e emissões de CO₂ do solo nos sistemas de colheita da cana-de-açúcar manual queimada e mecanizada crua. Jaboticabal: [s. n.], 2012.

FONSECA DA SILVA, J. et al. Nitrous oxide emissions from sugarcane fields in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v. 246, p. 55-65, 2017. ISSN 0167-8809. Doi: [org/10.1016/j.agee.2017.05.019](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.019).

GARCIA, J. C. C.; SPERLING, E. V. Greenhouse gas emissions from sugar cane ethanol: estimate considering current different production scenarios in Minas Gerais, Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 72, p. 1033-1049, 2017.

GONZAGA, L.C. et al. Crop residue removal and nitrification inhibitor application as strategies to mitigate N₂O emissions in sugarcane fields. v. 119, p. 206-216, 2018. Doi: [org/10.1016/j.biombioe.2018.09.015](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.015).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

MARTINS FILHO, M. V. et al. Perdas de solo e nutrientes por erosão num argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. *Eng. Agric.*, n. 29, p. 8-18, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000100002>.

POPIN, G. V. et al. Sugarcane straw management for bioenergy: effects of global warming on greenhouse gas emissions and soil carbon storage. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09880-7>.

ROSSETTO, R. et al. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. *Informações Agronômicas*, n. 124, p. 8-13, 2008.

SEABRA, J. E. A. et al. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. *Biofuels Bioprod. Biorefin.*, n. 5, p. 519-532, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.289>.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Direct N₂O emission factors for synthetic N-fertilizer and organic residues applied on sugarcane for bioethanol production in Central-Southern Brazil. *GCB Bioenergy*, n. 8, p. 269-280, 2016. Doi: [10.1111/gcbb.12251](https://doi.org/10.1111/gcbb.12251).

EFEITOS DA COLHEITA SEM QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE A DINÂMICA DO CARBONO E AS PROPRIEDADES DO SOLO

Edgar Fernando de Luca¹; Vincent Chaplot²; Christian Feller²

¹ Instituto Florestal de São Paulo; ² Institut de Recherche pour le Développement.

A maneira tradicional de colheita da cana-de-açúcar no Brasil se caracteriza pela aplicação da queima do canavial, para facilitar a operação manual. Entretanto, a queima resulta em problemas ambientais, como a produção e o lançamento de gases para a atmosfera e produção de cinzas que se depositam em superfície. Ainda, a degradação do material vegetal (palhada) torna o solo exposto às intempéries climáticas, como a chuva e o excesso de calor, contribuindo com a acentuação de processos erosivos e afetando o equilíbrio dos organismos que vivem no solo. Esses processos resultam em perda de qualidade dos solos. Mais recentemente, se desenvolveu o manejo de colheita da cana-de-açúcar sem a queima do canavial, seja por obrigações legais ou por consciência quanto as questões ecológicas. Este manejo, além de minimizar ou extinguir os problemas descritos, pode melhorar a produtividade do sítio de plantio da cana-de-açúcar.

Portanto, visando estudar os manejos citados, foram realizadas comparações entre dois modos de colheita de cana-de-açúcar: I. colheita manual com queima prévia do canavial (CQ); e II. colheita mecânica sem a queima (SQ), em três cidades no estado de São Paulo: Pradópolis, Matão e Serrana. Os canaviais estavam sob o manejo SQ há quatro anos (três colheitas), havendo um quarto local em Matão onde se praticava SQ há 12 anos. Os solos estudados (EMBRAPA, 1999) foram Latossolo Vermelho distrófico, em Pradópolis (LV4), Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVA4) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA12) em Matão e Neossolo Quartzarênico órtico em Serrana (RQo4).

Nos três locais sob manejo SQ, há quatro anos, foi instalado o mesmo delineamento experimental em blocos ao acaso, com seis repetições para cada tratamento. No local sob manejo SQ há 12 anos, foram quatro repetições. As amostragens de solo e os resíduos de colheita em manejo SQ (palhada) foram realizados não mais do que uma semana antes da quarta ou décima primeira colheita da cana. As amostras de terra foram coletadas utilizando trado holandês, nas camadas 0-0,05 m; 0,05-0,1 m; 0,1-0,2 m; e 0,2-0,4 m de profundidade em seis subamostras para cada uma das seis ou quatro parcelas de cada tratamento. As amostras foram secas ao ar e suavemente destorroadas para passar por uma peneira de 2 mm.

Para densidade aparente (D_a), duas subamostras indeformadas foram coletadas em cada parcela, nas profundidades 0-0,1 m; 0,1-0,2 m; e 0,2-0,4 m, usando anel metálico. A palhada remanescente sobre o solo foi amostrada nas parcelas SQ em LV4 e RQo4 ($n = 30$), numa delimitação de 0,5 m de comprimento por 0,7 m de largura. Os teores de carbono e nitrogênio totais do solo e da palhada foram determinados por combustão a seco em aparelho CN 2000 LECO auto analyser (LECO Corporation, St. Joseph, MI). Os resultados de D_a e teores de carbono (C) e nitrogênio (N) foram utilizados para os cálculos de seus estoques no solo, conforme a camada de solo considerada. O objetivo do estudo foi a comparação dos teores e estoques de carbono e nitrogênio dos solos entre os sistemas de colheita, com e sem queima, do canavial.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Os resultados apresentados evidenciam que, em termos de estocagem de carbono (Cest) e nitrogênio (Nest), a transição de CQ para SQ trouxe ganhos significativos. Considerando a média global na amplitude do perfil estudado (0,0-0,4 m) dos quatro solos, o Cest aumentou de 59,8 para 64,1 Mg ha^{-1} e o Nest aumentou de 3,72 para 4,15 Mg ha^{-1} , representando crescimento de 7% e 12%, respectivamente. Nessas condições, a transição do manejo com queima para sem queima do canavial previamente à colheita resultou em taxas médias de sequestro de carbono e de nitrogênio no solo em 1,43 e 0,14 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, respectivamente;
- As quantidades médias de matéria seca adicionadas em superfície foram 13,9 e 12,8 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ no LV4 e no RQo4, resultando em quantidades remanescentes determinadas em 4,5 e 3,6 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, respectivamente;
- As quantidades de carbono e nitrogênio remanescentes da palhada foram 1,36 e 1,61 Mg ha^{-1} em LV4 e RQo4 e 0,0223 e 0,0209 Mg ha^{-1} em LV4 e RQo4, respectivamente;

- Os acréscimos em teor de carbono e teor de nitrogênio foram tanto menores quanto maiores os teores de argila do solo, com exceção de LV4, que teve maior ganho do que LVA12. A variação de teores desses elementos na camada superficial do LV4 foi de 18,1 para 22,7 Mg ha⁻¹ (ganho de 25%).
- Outros estudos mais diretamente ligados ao assunto devem ser realizados para avaliação das consequências desse adensamento medido. A avaliação qualitativa do C sequestrado, por meio do fracionamento granulométrico do solo, mostrou que o curto período de quatro anos de manejo sem queima resultou em sequestro de C na sua forma mais lábil, ligado às frações mais grosseiras (> 50 µm).

DESAFIOS

- A supressão da queima representa um importante e significativo manejo agrícola para a cultura da cana-de-açúcar. Proporcionando sequestro de C e N no solo, e evitando a emissão de gases para a atmosfera;
- Apesar dos benefícios na fertilidade química terem aparecido unicamente em alguns solos estudados, exclusivamente nas camadas superficiais (0-5 ou 0-10 cm), isto foi um sinal de que com o tempo haverá incremento dos níveis de nutrientes, e que isto levará a significativos aumentos na fertilidade do solo;
- No manejo sem queima ocorreu significativa recuperação da densidade e biodiversidade da macrofauna do solo, comparado a quase extinção no solo sob queima. Nos primeiros anos da colheita mecanizada, o uso de máquinas na colheita da cana-de-açúcar causou adensamento da camada superficial (0-10 cm) de alguns solos estudados;

DADOS PUBLICADOS EM:

LUCA, E. F. Matéria orgânica e atributos do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar. 2002. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LUCA, E. F.; CHAPLOT, V.; MUTEMA, M.; FELLER, C.; FERREIRA, M. L.; CERRI, C. C.; COUTO, H. T. Z. Effect of conversion from sugarcane preharvest burning to residues green-trashing on SOC stocks and soil fertility status: results from different soil conditions in Brazil. *Geoderma*, n. 310, p. 238-248, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.020>.

SOLUÇÕES

- Recomenda-se a continuidade da manutenção da biomassa foliar no sistema e que o manejo do solo na ocasião do replantio da cultura seja o mínimo possível. Se eventualmente, o manejo voltar para o sistema de queima, o carbono sequestrado poderá ser perdido em um período curto de um ou dois anos, pois se trata de carbono instável, susceptível à mineralização;
- Acredita-se que a manutenção da biomassa foliar no sistema, associada ao cultivo reduzido do solo, poderá favorecer de forma mais intensa as interações entre a matéria orgânica do solo, a estruturação, a atividade biológica e a fertilidade do solo nos próximos anos de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA, 1999.

COORDENADORES DO PROJETO

Edgar Fernando de Luca

Instituto Florestal

e-mail: efluca@gmail.com

Vincent Chaplot

Institut de Recherche pour le Développement – IRD

e-mail: vincent.chaplot@ird.fr

Christian Feller

Institut de Recherche pour le Développement – IRD

e-mail: christian.feller@ird.fr

BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA CONVERSÃO DE ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR COLHIDAS QUEIMADAS PARA COLHEITA MECANIZADA CRUA NO BRASIL

Eduardo Barretto de Figueiredo¹; Newton La Scala Jr.²

¹ Universidade Federal de São Carlos; ² Universidade Estadual Paulista.

A contribuição da cultura da cana-de-açúcar em relação ao aumento da concentração de CO₂ atmosférico vem sendo debatida, o que também está relacionado com a produção de energia renovável derivada de plantações de cana-de-açúcar (CERRI *et al.*, 2009).

Muitas mudanças estão ocorrendo nos sistemas de produção agrícola para a redução das emissões de gases de efeito estufa, nos últimos anos no país onde os solos agrícolas contribuem com 9,3% das emissões nacionais. Essas mudanças têm a ver principalmente com adaptações nas práticas de manejo que ajudem a reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa, atendendo às leis nacionais e internacionais e aos protocolos de boas práticas de produção e à demanda por biocombustíveis tanto no Brasil quanto em outros países do mundo.

O presente estudo tem como objetivo estimar as emissões e o potencial de sequestro de C no solo e apresentar um balanço anual de emissões que considera as principais fontes agrícolas de gases de efeito estufa (GEE) em um hectare de cana-de-açúcar colhida manual queimada e um hectare de cana colhida mecanicamente sem queima (Figura), com o objetivo de apresentar e discutir o impacto de diferentes práticas de manejo agrícola no balanço de GEE. A abordagem é baseada em fatores de emissão do IPCC (IPCC, 2006) e nos dados médios de consumo dos insumos agrícolas utilizados para a produção no Brasil e inclui o sequestro de C (carbono) no solo em áreas colhidas cruas e o consumo de combustível fóssil das operações agrícolas.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Aplicando as práticas típicas de cultivo e de manejos intensivos em áreas de cana-de-açúcar no Brasil, as estimativas totais das emissões de GEE para cada hectare foi de 2.793 e 3.104 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹ para os sistemas de colheita de cana crua e queimada, respectivamente, sem considerar o sequestro de carbono do solo. Assim, a conversão da colheita manual queimada para a mecanizada crua poderá reduzir cerca de 310,7 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹. Além disso, considerando-se um

potencial sequestro de carbono no solo de 320 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹ em áreas cruas, a conversão do sistema de colheita sob queima para colheita crua evitaria um equivalente de emissão de 1.484,0 kg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹.

DESAFIOS

- Considerando os estudos referentes ao balanço de GEE do setor agrícola para a cultura da cana-de-açúcar, com ênfase nos resultados de campo apresentados, pode-se inferir que o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil deve passar por transformações ainda mais profundas na produção, especialmente ao se considerar a redução das emissões de GEE;
- Novos cenários de produção para o setor agrícola da cana-de-açúcar devem ser simulados e estudados visando a sustentabilidade da produção e promovendo benefícios diretos e indiretos para a sociedade, como fruto de menores emissões de GEE concomitantemente ao maior retorno econômico.

SOLUÇÕES

- Como estratégias de redução de emissões de GEE na cultura da cana-de-açúcar, podemos considerar práticas conservacionistas de manejo do solo como cultivo mínimo, variedades mais adaptadas e produtivas e o uso de culturas produtoras de alimentos em rotação ou consorciadas com a cana. Tais estratégias promovem retornos econômicos diretos e indiretos e reduzem o consumo de diesel nas operações de campo, que certamente poderão contribuir para sustentar a produção de cana-de-açúcar e seus derivados em longo prazo e promover maior competitividade do setor sucroalcooleiro brasileiro no cenário mundial.

DADOS PUBLICADOS EM:

FIGUEIREDO, Eduardo Barretto de. Balanço de gases de efeito estufa e emissões de CO₂ do solo nos sistemas de colheita da cana-de-açúcar manual queimada e mecanizada crua. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2012.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 66, p. 831-843, 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

Figura 1: Colheita de cana-de-açúcar mecanizada crua sem queima, na Usina Ipiranga S.A., em Mococa-SP, 2011



Crédito: própria autoria.

COORDENADOR DO PROJETO

Dr. Eduardo Barretto de Figueiredo

Universidade Federal de São Carlos

e-mail: eduardofigueiredo@ufscar.br

EMISSIONS DE CO₂-C DO SOLO ANTES DO REPLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SUL DO BRASIL

Eduardo Barretto de Figueiredo¹; Newton La Scala Jr.²; Alan R. Panosso²; Donald C. Reicosky³

¹ Universidade Federal de São Carlos; ² Universidade Estadual Paulista; ³ Agricultural Research Service.

Este estudo quantificou o impacto dos sistemas de colheita da cana-de-açúcar, preparo do solo e outras práticas de manejo quanto aos fluxos de C-CO₂ anteriormente ao replantio da cultura. Dois sistemas agrícolas foram considerados: colheita manual queimada e colheita mecanizada crua sem queima, em parcelas em que os resíduos foram deixados ou removidos da superfície do solo, em áreas sem preparo do solo e após o preparo convencional, com ou sem aplicações de calcário e gesso agrícola.

que representa 925,5 kg de CO₂ ha⁻¹ emitido de volta à atmosfera em 25 dias. Este valor é comparável às perdas de CO₂ do solo induzidas pelo preparo convencional nas parcelas de Cana Queimada e Cana Crua sem Resíduos, com 283,4 e 245,7 kg C-CO₂ ha⁻¹, respectivamente (Figura);

- A redução da frequência de preparo do solo em áreas de cana colhida crua reduz as emissões de CO₂ e pode promover o aumento do estoque de carbono do solo, considerando os sistemas de cultivo de longo prazo.

RESULTADOS PRELIMINARES

- As emissões nas parcelas sem preparo do solo se mantiveram mais baixas do que todas as outras durante todo o período estudado, apresentando em alguns casos, flutuações relacionadas às mudanças na umidade do solo associada à ocorrência de precipitações. As mudanças nas emissões de C-CO₂, em cada um dos sistemas de colheita podem ser claramente observadas quando o preparo do solo, calcário ou gesso foram aplicados;
- Entre os sistemas de colheita e manejo estudados, as parcelas sem preparo do solo apresentaram as menores emissões durante todo o período de 25 dias de medições, especialmente o tratamento Cana Crua com Resíduo sem Preparo do Solo, com 446,4 kg C-CO₂ ha⁻¹. A renovação da área de cana-de-açúcar colhida crua com resíduos na superfície do solo, aplicando as práticas de manejo usuais consideradas neste trabalho, foi responsável por emissões tão altas quanto 1.103,8 kg C-CO₂ ha⁻¹ ou 4.047,3 kg CO₂ ha⁻¹, no período de 25 dias após o preparo do solo. Pelas mesmas práticas de manejo, a renovação da área com queima apresentou emissões de 568,1 kg C-CO₂ ha⁻¹ ou 2.083,0 kg CO₂ ha⁻¹;
- A remoção dos resíduos da cana-de-açúcar da superfície do solo resultou em uma redução quase imediata da umidade do solo (6% em volume), seguindo um aumento nas emissões de CO₂ na parcela sem preparo de 64%. As emissões adicionais devido à remoção dos resíduos de colheita da superfície do solo foram de 252,4 kg de C-CO₂ ha⁻¹, o

DESAFIOS

- Os resultados sugerem que a remoção dos resíduos da cana após a colheita mecanizada crua e o preparo convencional do solo considerado neste estudo anterior ao replantio da cultura, não são opções adequadas para mitigação de gases de efeito de estufa em áreas de cana-de-açúcar;
- Tanto para áreas colhidas queimadas como para áreas colhidas mecanicamente cruas, uma redução na frequência do preparo do solo por ocasião da reforma seria desejável, uma vez que podem causar perdas adicionais de carbono.

SOLUÇÕES

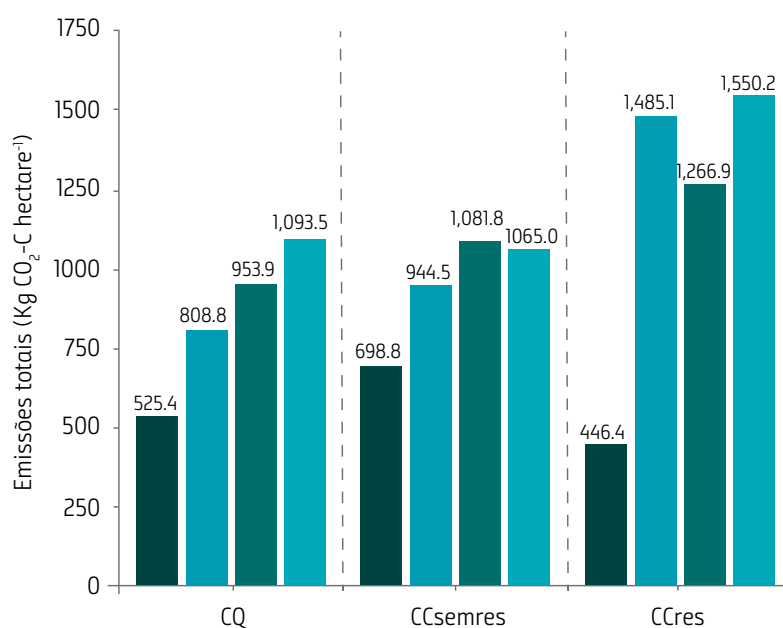
- Reduzir as operações de preparo do solo em áreas de cana-de-açúcar;
- Manter a palha na superfície do solo, resultando em menores emissões adicionais de CO₂-C e maior umidade do solo.

DADOS PUBLICADOS EM:

FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R.; REICOSKY, D. C.; LA SCALA, N. Short-term CO₂-C emissions from soil prior to sugarcane (*Saccharum spp.*) replanting in southern Brazil. GCB Bioenergy, v. 7, n. 2, p. 316-327, 2015.



Figura 1: Emissões totais de carbono, considerando os sistemas de colheita da cana-de-açúcar queimada (CQ), colheita crua com resíduos removidos (CCsemres) e colheita crua com resíduos na superfície do solo (CCres) e seus respectivos manejos.



Nota: Acima das barras dos sistemas de manejo se mostra a metade do erro padrão. As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas comparando os manejos entre os sistemas de colheita e as letras minúsculas comparando os manejos dentro de cada sistema de colheita não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

COORDENADOR DO PROJETO

Dr. Eduardo Barretto de Figueiredo

Universidade Federal de São Carlos

e-mail: eduardofigueiredo@ufscar.br

DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES PARA ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB IRRIGAÇÃO NAS REGIÕES TRADICIONAIS E DE EXPANSÃO DO NORDESTE

Aderson Soares de Andrade Júnior¹; Valdenir Queiroz Ribeiro¹; Edson Alves Bastos¹; Alzeneide da Silva Lopes²; Luís Henrique Basso³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio-Norte; ² Universidade Federal do Vale do São Francisco; ³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Instrumentação Agropecuária.

O óxido nitroso (N_2O) é um importante gás de efeito estufa. Apesar de sua baixa concentração na atmosfera de 324 ppb (IPCC, 2013), ele se destaca pelo tempo de permanência (aproximadamente 114 anos) e elevado potencial de aquecimento global (PAG). No Brasil, estima-se que 93% do N_2O liberado para a atmosfera anualmente é proveniente da atividade agrícola (MCTI, 2013).

A quantidade de N_2O emitido pelo uso de fertilizantes nitrogenados, segundo a estimativa do IPCC (2006), é de 1% do N aplicado (variação de 0,03 a 3%). Porém, na prática, diferentes quantidades de N_2O são emitidas, dependendo do fertilizante, manejo adotado, tipo de solo e das condições ambientais.

O estudo teve como objetivo comparar as emissões de N_2O decorrentes da aplicação de doses de N em cana-de-açúcar fertirrigada por gotejamento subsuperficial, comparando-as às emissões provenientes da adubação convencional (via solo). As emissões de N_2O foram estudadas em uma área de cultivo de cana-de-açúcar na fase de cana-planta colhida sem queima, na área experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI.

Os tratamentos consistiram na combinação de duas doses de N e K₂O (respectivamente, 60-120 e 120-180 kg ha⁻¹), duas formas de aplicação (via solo e fertirrigação) e uma testemunha. Todas as parcelas dos tratamentos, independentemente da forma de aplicação dos fertilizantes, foram irrigadas.

As adubações com outros nutrientes foram uniformes em todas as parcelas. O fósforo (P205) foi aplicado na quantidade de 100 kg ha⁻¹, da seguinte forma: 30% em fundação (SFT-superfosfato triplo) e 70% via fertirrigação (fosfato monoamônico), com aplicações mensais. Nos tratamentos de adubação via solo o P foi todo aplicado em fundação, na forma de SFT. Os micronutrientes B, Zn, Mn, Cu e Mo foram aplicados via fertirrigação, de forma parcelada com seis aplicações em todos os tratamentos, com aplicações mensais.

Nos tratamentos fertirrigados, as aplicações de N e K₂O foram divididas em 24 etapas durante seis meses do ciclo da cultura, com intervalo de sete dias entre as aplicações, sendo a primeira realizada 60 dias após o plantio (DAP). Os tratamentos com adubação via solo, tiveram as doses de N e K₂O aplicadas em duas etapas: 50% aos 68 DAP; e 50% aos 144 DAP, de forma convencional.

A lâmina de irrigação foi uniforme e aplicada com base na evapotranspiração de referência (ET₀), estimada pelo método de Penman - Monteith e coeficientes de cultivo (K_c) de cana-de-açúcar, determinados na região (ANDRADE JÚNIOR et al., 2017), em escala de tempo diária.

Os fluxos de N_2O foram quantificados pelo método da câmara estática fechada (Figura). Para a quantificação dos fluxos no dia da coleta, três amostras de N_2O foram coletadas por câmara: imediatamente após o fechamento da câmara (tempo zero); aos 10 minutos (tempo 10); e aos 30 minutos (tempo 30). As amostras foram coletadas no início da manhã (entre 7h30 e 10h), armazenadas em frascos hermeticamente fechados e encaminhadas para análise. A concentração de N_2O foi determinada por cromatografia gasosa, em equipamento modelo Trace 1310 GC, com detector ECD1, a 350 °C (nitrogênio a 20 mL min⁻¹ como gás de make-up), hélio como gás de arraste.

As avaliações das emissões de N_2O nos tratamentos fertirrigados foram realizadas aos 83, 104, 146, 186 e 230 DAP, um dia depois da fertirrigação, totalizando cinco avaliações. Nos tratamentos de adubação convencional, as coletas foram realizadas aos 69, 70, 73 e 145, 146 e 147 DAP, para quantificar as emissões decorrentes da 1ª e da 2ª adubação de cobertura, respectivamente, totalizando seis avaliações. Com os fluxos diários de N_2O , obteve-se a emissão acumulada no período por meio da integração trapezoidal dos fluxos diários em função do tempo. Com a emissão acumulada de N_2O , foi possível calcular os fatores de emissão (FE) para cada dose de N aplicado, seguindo a metodologia proposta pelo IPCC (2006).

RESULTADOS PRELIMINARES

- Nos tratamentos fertirrigados com 60 e 120 kg N ha⁻¹, as emissões acumuladas de N₂O apresentaram reduções de 40,6 e 50,2%, respectivamente, ao longo do ciclo em relação aos seus correspondentes fertilizados de forma convencional, via solo;
- A aplicação de 120 kg N ha⁻¹ via fertirrigação apresentou menor fator de emissão (1,69%), valor próximo do estabelecido pelo IPCC (2006) que é de 1%;
- A aplicação de 60 kg N ha⁻¹ de forma convencional apresentou FE de 4,26%, valor acima do estabelecido pelo IPCC.

DESAFIOS

- A partir da presente pesquisa pode-se constatar que para que os resultados sejam validados há necessidade de que mais estudos sejam conduzidos em outras regiões produtoras de cana-de-açúcar.

SOLUÇÕES

- A partir da presente pesquisa, identificou-se que o sistema de produção de cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento subsuperficial promove menor emissão de GEE para a atmosfera em comparação ao sistema que adota adubação convencional via solo.

DADOS PUBLICADOS EM:

LOPES, A. S. Emissões de gases de efeito estufa em cana-de-açúcar fertirrigada por gotejamento subsuperficial. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2017.

LOPES, A. S.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASSOI, L. H.; RIBEIRO, V. Q. Emissão de metano em cana-de-açúcar fertirrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Juazeiro-BA, 2017.

LOPES, A. S.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASSOI, L. H. SILVA, J. F. BASTOS, E. A.; PAULO, V. F. Nitrous oxide emission in response to N application in irrigated sugarcane. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 22, n. 11, p. 758-763, 2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NOLÊTO, D. H.; BASTOS, E. A.; MOURA, M. S. B.; ANJOS, J. C. R. Demanda hídrica da cana-de-açúcar, por balanço de energia, na microrregião de Teresina, Piauí. Agrometeoros, v. 25, p. 217-226, 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília: MCTI, 2013.



Figura 1: Medição do fluxo de N₂O pelo método da câmara estática fechada.

Crédito: própria autoria.

COORDENADOR DO PROJETO

Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

Embrapa Meio-Norte

e-mail: aderson.andrade@embrapa.br

REMOÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR E SUAS IMPLICAÇÕES NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SOLO NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

Ricardo de Oliveira Bordonal¹; João Luís Nunes Carvalho¹; Leandro Carolino Gonzaga¹

¹ Centro Nacional de Pesquisas em Energias e Materiais

O uso de resíduos agroindustriais, tais como a palha da cana-de-açúcar, é uma opção promissora para aumentar a produção de bioenergia. Entretanto, as implicações da remoção da palha na emissão de gases do efeito estufa (GEE) do solo ainda são pouco compreendidas devido à escassez de estudos de campo conduzidos sob as condições edafoclimáticas do Brasil. As avaliações do ciclo de vida utilizando-se os fatores de emissão propostos pelo IPCC (IPCC, 2006, p. 68) apontam que as emissões de óxido nitroso (N_2O) derivadas dos fertilizantes nitrogenados sintéticos e da palha de cana-de-açúcar correspondem aproximadamente 49% do total das emissões de GEE associadas à produção de cana-de-açúcar (CHAGAS *et al.*; 2016). Objetivou-se neste estudo determinar os fatores de emissão de N_2O da aplicação de fertilizantes nitrogenados em áreas de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palha.

Com intuito de representar as condições regionais específicas das áreas de produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo sob diferentes cenários de remoção de palha, estimaram-se as emissões diretas de N_2O (em $kg\ CO_2eq\ ha^{-1}$) com base no fator de emissão padrão (1%) proposto pelo IPCC (Tier 1) e nos fatores de emissão específicos regionais (Tier 2) obtidos neste estudo e compilados da literatura (Tabela).

Quatro experimentos de campo foram delineados para avaliar as emissões de N_2O do solo provenientes da adubação com nitrogênio sob diferentes cenários de remoção da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Os locais experimentais estão localizados nos municípios de Campinas, Paulínia, Quatá e Sales Oliveira, sendo escolhidos estrategicamente para representar diferentes condições de solo, clima e época de colheita. Em cada local, quatro taxas de remoção de palha (sem remoção – SR; baixa remoção – BR com remoção de 5 $Mg\ ha^{-1}$; alta remoção – AR com remoção de 10 $Mg\ ha^{-1}$; e total remoção – TR com remoção de 15 $Mg\ ha^{-1}$) foram estabelecidas em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. As avaliações foram realizadas durante a safra 2016/2017 em todos os locais e 2017/2018 apenas em Quatá e Sales de Oliveira. Para as medições de GEE, foram instaladas câmaras estáticas no solo na linha e na entrelinha da cana-de-açúcar, iniciando-se as coletas após a aplicação do fertilizante nitrogenado e se estendendo até a colheita. A aplicação do fertilizante em

cada local foi realizada aproximadamente 30 dias após a colheita, com 120 $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ de nitrogênio e 120 $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ de potássio.

RESULTADOS PRELIMINARES

- As emissões cumulativas de N_2O variaram de 0,20 a 4,09 $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ e foram significativamente afetadas pela remoção da palha nos locais avaliados, indicando que a remoção da palha reduz as emissões de N_2O .
- Os fatores de emissão de N_2O obtidos neste trabalho ($n = 22$), juntamente aos compilados da literatura ($n = 9$), foram de 0,28; 0,44; 0,70; e 0,56% para os cenários de TR, AR, BR, SR, respectivamente, sendo consistentemente menores que o fator emissão de 1% proposto pelo IPCC (Tabela). Ressalta-se ainda que o IPCC estabelece o fator de emissão de 1% do N aplicado na forma de fertilizante sintético em adição a 1% do N presente nos resíduos culturais (isto é, na palha). No presente estudo, os dados refletem as emissões já levando em consideração a contribuição do fertilizante e da palha, e, ainda assim, os fatores de emissão foram menores, se comparados ao proposto pelo IPCC.

DESAFIOS

- Embora os resultados apontem que a remoção da palha reduz as emissões de N_2O , as implicações dessa remoção sobre os estoques de carbono orgânico do solo não foram consideradas nesse estudo. Como objetivo principal foi avaliar as emissões de gases de efeito estufa (N_2O e CH_4), sugere-se, portanto, que as pesquisas futuras levem em consideração os aspectos mencionados, sobretudo na quantificação do balanço das emissões de GEE induzido pela remoção da palha para a produção de bioenergia.

SOLUÇÕES

- Baseando-se nos fatores regionais específicos (Tier 2), as emissões diretas de N_2O derivadas da fertilização nitrogenada em cenários de remoção de

palha foram 50% menores em relação à utilização do fator padrão proposto pelo IPCC. A presente pesquisa é um primeiro passo no fornecimento de dados regionais específicos para reduzir o alto nível de incerteza associado às emissões de N_2O estimadas para o etanol de cana-de-açúcar no Brasil. Os estudos de análises do ciclo de vida da produção de cana-de-açúcar utilizando-se fatores de emissão regionais certamente resultarão em uma menor participação da aplicação do fertilizante sintético nitrogenado na presença de palha sobre as emissões totais de GEE associado à produção de cana-de-açúcar, cuja contribuição tem sido estimada em 49% das emissões totais.

DADOS PUBLICADOS EM:

GONZAGA, L. C. et al. Crop residue removal and nitrification inhibitor application as strategies to mitigate N_2O emissions in sugarcane fields. *Biomass and Bioenergy*, v. 119, p. 206-216, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.015>.

GONZAGA, L. C. et al. Implications of sugarcane straw removal for soil greenhouse gas emissions in São Paulo State, Brazil. *Bioenergy Res.*, v. 12, p. 299-319, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10006-9>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CHAGAS, M. F. et al. Environmental and economic impacts of different sugarcane production systems in the ethanol biorefinery. *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, v. 10, p. 89-106. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bbb.1623>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006. p. 68.

COORDENADOR DO PROJETO

Dr. João Luís Nunes Carvalho

Laboratório Nacional de Biorrenováveis, Centro Nacional de Pesquisas em Energias e Materiais (LNBR/CNPEM)

e-mail: joao.carvalho@lnbr.cnpe.br

Tabela: Fatores de emissão de N_2O (% do N aplicado) obtidos a partir de áreas experimentais cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes cenários de remoção da palha no estado de São Paulo, Brasil.

Locais	Localização	Safrano	Taxas de remoção de palha			
			TR	AR	BR	SR
1	Campinas, SP	2016/17	0.14 c	0.57 b	0.47 b	0.81 a
2	Paulínia, SP	2016/17	0.12 d	0.52 c	1.44 a	0.91 b
3	Quatá, SP	2016/17	0.58 a	0.42 a	0.68 a	0.69 a
		2017/18	0.28 a	0.24 a	0.38 a	0.23 a
4	Sales Oliveira, SP	2016/17	0.05 a	0.09 a	-	0.13 a
		2017/18	0.07 b	0.13 ab	-	0.16 a
Dados da Literatura#						
Carmo et al.	Piracicaba, SP	2010/11	0.68	0.96	--	0.76
Pitombo et al.	Piracicaba, SP	2012/13	0.21	--	1.06	--
Pitombo et al.	Araras, SP	2011/12	0.41	0.56	0.19	0.79
Média			0.28	0.44	0.70	0.56

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($p < 0.05$). Taxas de remoção da palha de cana-de-açúcar: total remoção (TR), alta remoção (AR), baixa remoção (BR) e sem remoção (SR). # Os dados primários obtidos da literatura não estavam disponíveis para realizar a análise estatística.

EMISSIONES DE N₂O DEVIDO À APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL

Diana Signor Deon¹; Carlos Eduardo Pellegrino Cerri²; Richard Connant³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Semiárido; ² Universidade de São Paulo; ³ Colorado State University.

Este trabalho foi desenvolvido para determinação dos efeitos da fertilização nitrogenada (fontes e doses) sobre as emissões de N₂O no cultivo de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil. Foram conduzidos dois experimentos, um em Piracicaba-SP e outro em Goianésia-GO. Os fertilizantes avaliados foram ureia e nitrato de amônio, aplicados nas doses de 0, 60, 90, 120 e 180 kg ha⁻¹. As avaliações foram feitas com uso de câmaras estáticas (STEUDLER et al., 1995).

RESULTADOS PRELIMINARES

- Em Piracicaba-SP, as emissões de N₂O aumentaram exponencialmente com o aumento da dose de N e foram similares entre ureia e nitrato de amônio até a dose de 107,9 kg ha⁻¹. A partir desse ponto, as emissões aumentaram exponencialmente para os tratamentos que receberam nitrato de amônio, enquanto para os tratamentos com ureia as emissões estabilizaram-se a partir dessa dose;
- Em Goianésia-GO, as emissões de N₂O foram menores que as observadas em Piracicaba-SP, embora os comportamentos em função dos tratamentos tenham sido similares, com emissões aumentando linearmente em função da dose de N para nitrato de amônio. Para os tratamentos recebendo adição de ureia, as emissões aumentaram de forma quadrática em função da dose de N, com ponto de máximo em 113,9 kg N ha⁻¹;
- Os fatores de emissão de N₂O variaram em função das fontes de N e do local onde o experimento foi conduzido. Em Piracicaba-SP, os fatores de emissão de N₂O variaram de 0,80 ± 1,0 a 12,94 ± 2,95% do N aplicado via nitrato de amônio e de 2,85 ± 1,90 a 6,67 ± 1,59% do N aplicado via ureia (Tabela);
- Em Goianésia-GO, os fatores de emissão de N₂O para nitrato de amônio foram similares entre as doses testadas. Para a ureia, quanto maior a dose de N aplicada, menores os fatores de emissão;
- As emissões de N₂O induzidas por fertilizantes nitrogenados são dependentes da dose de N aplicada e também do tipo de fertilizante aplicado;

- Emissões induzidas pela aplicação de nitrato de amônio aumentam rapidamente em função da dose de N, enquanto aquelas induzidas pelo uso de ureia apresentam um ponto de máximo que ocorre em torno de 114 kg ha⁻¹.

DESAFIOS

- Há necessidade de determinação de fatores de emissão diferenciados e específicos para diferentes fontes de nitrogênio;
- A grande variação na proporção de N emitido para a atmosfera na forma de N₂O confirma a dificuldade de se usar para todas as situações um valor de fator de emissão pré-estabelecido.

SOLUÇÕES

- Condução de estudos para as culturas representativas do cenário agrícola nacional, considerando as principais práticas de manejo, fontes e doses de fertilizantes aplicados, a fim de gerar fatores de emissão mais próximos à realidade para serem empregados nos inventários nacionais.

DADOS PUBLICADOS EM:

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P.; CONANT, R. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. Environ. Res. Lett., v. 8 015013, 2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M.; FEIGL, B. J.; NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C. Consequence of forest-to-pasture conversion on CH₄ fluxes in the Brazilian Amazon Basin. Geophys. Res. Atmos., v. 101, p. 18547-18554, 1995.

Tabela: Medição do fluxo de N₂O pelo método da câmara estática fechada.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Fatores de Emissão (FE)	
	Nitrato de Amônio	Ureia
Piracicaba-SP		
60	0,80 ± 1,00	2,85 ± 1,90
90	1,33 ± 0,62	3,59 ± 1,39
120	6,21 ± 2,11	6,67 ± 1,59
180	12,95 ± 2,95	4,31 ± 0,94
Golanésia-GO		
60	1,22 ± 0,27	1,10 ± 0,22
120	1,53 ± 0,07	0,63 ± 0,12
180	1,22 ± 0,12	0,31 ± 0,09

Fonte: própria autoria.

Figura 1: Câmaras durante a coleta de GEEs em área de cana-de-açúcar.



Crédito: Magnus D. Deon.

Figura 2: Experimento para determinação de fatores de emissão de N₂O no cultivo de cana-de-açúcar.



Crédito: Magnus D. Deon.

COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Diana Signor Deon

Embrapa Semiárido
e-mail: diana.signor@embrapa.br

Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri

Universidade de São Paulo
e-mail: cepcerri@usp.br

Dr. Richard Connant

Colorado State University/National Resource Ecology Laboratory
e-mail: rich.conant@colostate.edu

EXPANSÃO DO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR: TRANSFORMAÇÃO DAS ÁREAS COM PASTAGENS DEGRADADAS EM ÁREAS COM CANA-DE-AÇÚCAR E ALTERAÇÕES NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Janaina Braga do Carmo¹; Camila Bolfarini Bento¹; Solange Filoso²; Raffaella Rossetto³; Heitor Cantarella⁴; Luiz Antonio Martinelli⁵

1 Universidade Federal de São Carlos; 2 Universidade de Maryland; 3 Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios; 4 Instituto Agronômico de Campinas;

5 Universidade de São Paulo.

No Brasil, o crescente cultivo da cana-de-açúcar em regiões tropicais e o aumento da demanda global por energia renovável nos últimos anos levou a expansão e a intensificação dessa cultura. As áreas de pastagem extensivas estão sendo convertidas em cultivos de cana-de-açúcar, e, consequentemente, o manejo de áreas de pastagem remanescentes vem se tornando mais intensivos, com a adoção de práticas de manejo, como o preparo do solo e a aplicação de fertilizantes. Somente na última década, a área colhida com cana-de-açúcar no país aumentou cerca de 60% (FAOSTAT, 2016), principalmente em direção às pastagens naturais ou extensivas (MARIN; NASSIF, 2013; OLIVEIRA et al., 2016, 2017).

O crescente uso de fertilizantes nitrogenados em pastagens e cana-de-açúcar pode resultar em maiores emissões de N_2O e CH_4 e alterar o saldo de GEE do etanol de cana produzido no país. Por outro lado, adicionar nitrogênio ao solo pode compensar as perdas de CO_2 e reduzir as emissões de GEE, promovendo o sequestro de carbono e seu armazenamento no solo. Saber se o balanço final de emissões GEE será positivo ou negativo dependerá de uma série de fatores, incluindo o manejo adotado durante a mudança de uso da terra e de como as condições ambientais afetarão os processos biogeoquímicos do solo.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi quantificar as emissões de GEE associadas à conversão de pastagens extensivas para pastagens intensivas e em áreas de produção de cana-de-açúcar, mediante experimentos conduzidos em Sorocaba, no estado de São Paulo, bem como, determinar como as condições ambientais e as práticas de manejo adotadas afetam as emissões. Nossa hipótese considerou que as emissões de GEE aumentariam com a conversão de pastagens extensivas em cultivos de cana-de-açúcar e com a intensificação das pastagens remanescentes devido ao uso de fertilizantes.

Levando-se em consideração o cenário acima exposto, o experimento foi projetado para avaliar as mudanças nas emissões GEE em área de pastagem extensiva (tratamento 1 - sem aplicação de fertilizante), em área de pastagem extensiva intensificada (tratamento 2 - pastagem somente com aplicação de fertilizantes inorgânicos), em área de pastagem reformada (tratamento 3 - pastagem

extensiva que recebeu somente preparo do solo), em área de pastagem reformada fertilizada (tratamento 4 - pastagem extensiva que recebeu preparo do solo e aplicação de fertilizantes inorgânicos) e em pastagem extensiva convertida em cultivo de cana-de-açúcar (tratamento 5 - preparo convencional do solo para plantio de cana-de-açúcar sem aplicação de fertilizantes; tratamento 6 preparo convencional do solo e aplicação de fertilizantes).

O primeiro passo na implantação da cana-de-açúcar convencional e da pastagem reformada foi o preparo convencional do solo. Para tanto, foram realizados os procedimentos recomendados para pastagem e cana-de-açúcar na região que incluem dupla aração, gradagem e nivelamento. A adubação foi feita de acordo com as taxas recomendadas para pastagens e cana-de-açúcar no estado de São Paulo (RAIJ *et al.*, 1997). A pastagem foi adubada com 60 kg de N ha^{-1} na forma de nitrato de amônio (NH_4NO_3), 40 kg de $P2O5$ ha^{-1} de superfosfato e 40 kg $K2O$ ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl). A cana-de-açúcar foi adubada com 60 kg N ha^{-1} de nitrato de amônio (NH_4NO_3), 140 kg de $P2O5$ ha^{-1} de superfosfato e 120 kg de $K2O$ ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl).

As amostras de gases foram obtidas através de câmaras cilíndricas de PVC (30 cm de diâmetro, 28 cm de altura) instaladas no campo e quantificadas por cromatografia gasosa. A partir dos resultados obtidos foram calculados os fluxos (Figura), as emissões anuais, o fator de emissão de N_2O e o CO_2eq .

RESULTADOS PRELIMINARES

- Nas condições climáticas do período, foi observado que os fluxos de CH_4 alternaram entre valores negativos e positivos, em geral próximos à zero; os fluxos de CO_2 e N_2O aumentaram principalmente em tratamentos envolvendo preparo do solo e aplicação de fertilizantes e foram influenciados por variáveis climáticas como índices pluviométricos;
- Os maiores picos de CO_2 e N_2O ocorreram entre 40 e 110 dias após a aplicação de fertilizantes;

- As análises estatísticas sugerem que o preparo do solo pode melhor explicar os fluxos de GEE no experimento;
- O fator de emissão (de N_2O) estimado para a pastagem extensiva intensificada (tratamento 2) foi de 0,41%;
- O fator de emissão (de N_2O) estimado para a pastagem reformada (tratamento 4) foi de 3,36%;
- O fator de emissão (de N_2O) estimado para o cultivo de cana-de-açúcar (tratamento 6) no primeiro ano de cultivo, quando é realizado preparo convencional do solo e considerando somente aplicação de fertilizantes inorgânicos, foi de 0,46%;
- A intensidade do aumento das emissões de GEE, segundo os resultados experimentais, depende das condições ambientais e das práticas de manejo adotadas.
- A forma de expansão da cana-de-açúcar em direção a áreas de pastagem deve adotar as melhores e mais sustentáveis práticas de manejo disponíveis para ajudar na mitigação das emissões de GEE;
- Torna-se crucial que a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil seja pesquisada considerando uma acurada quantificação de um ciclo completo da cultura.

DADOS PUBLICADOS EM:

BENTO, C. B. et al. Impacts of sugarcane agriculture expansion over low-intensity cattle ranch pasture in Brazil on greenhouse gases. *Journal of Environmental Management*, v. 206, p. 980-988, 2018.

DESAFIOS

- Considerando o primeiro ano de cultivo de cana-de-açúcar, os resultados mostram que a intensificação de pastagens e a conversão de pastagens em cana-de-açúcar convencional podem aumentar as emissões de GEE;
- O fator de emissão estimado para a pastagem reformada neste estudo foi três vezes maior do que o valor estimado pelo IPCC para pastagens reformadas no Brasil;
- O fator de emissão estimado para cana-de-açúcar convencional no experimento pode ser provavelmente maior, se considerado o uso rotineiro de vinhaça e de ureia como fertilizante nitrogenado, bem como, um ciclo completo da cultura que pode variar de três a cinco anos;
- O fator de emissão de 1% estimado pelo IPCC para cana-de-açúcar pode estar subestimado diante da crescente taxa de aplicação de fertilizantes no país e dos resultados observados no experimento.

SOLUÇÕES

- O balanço negativo de GEE associado à conversão de pastagens para a cana-de-açúcar no Brasil pode ser gerado se considerados aspectos como a redução do desmatamento de áreas nativas e o uso de insumos que melhorem a produção pecuária no Brasil;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en>.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Climate change and the sugarcane in Brazilian: physiology, conjuncture and future scenario. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, v. 17, p. 232-239, 2013.

OLIVEIRA, D. et al. Soil carbon changes in areas undergoing expansion of sugarcane into pastures in south-central Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 228, p. 38-48, 2016.

OLIVEIRA, R. et al. Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 240, p. 54-65, 2017. Continuação no Anexo

COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Janaina Braga do Carmo

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade (CCTS)

e-mail: jbcarmo2008@gmail.com

OBSERVAÇÃO E MODELAGEM DAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA CO₂, CH₄ E N₂O, EM PLANTAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Oswaldo Machado Rodrigues Cabral¹; Ana Paula Packer¹; Cristiano Alberto de Andrade¹; Helber Custódio de Freitas²; Nilza Patrícia Ramos¹; Santiago Vianna Cuadra³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Ambiente; ² Universidade Estadual Paulista; ³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Informática.

As medições contínuas dos fluxos de vapor de água e dos gases de efeito estufa (GEE) metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono (CO₂) foram realizadas em plantação comercial de cana-de-açúcar em área de colheita sem queima (Figura) em Pirassununga-SP durante dois anos consecutivos, utilizando-se o método da covariância de vórtices (*eddy covariance*), que apresenta alta resolução temporal (30 minutos) e integração espacial da ordem de hectares em torno do ponto de observação. As frações molares dos gases CH₄ e N₂O foram medidas por um espectrômetro de absorção a laser (QCLAS) de caminho fechado; o CO₂ e vapor de água por um sensor de absorção no infravermelho de caminho aberto, ambos de resposta rápida (10 Hz) além de um anemômetro sônico tridimensional. O conjunto de dados obtido foi utilizado na determinação das trocas líquidas (NEE: Net Ecosystem Exchange) de CO₂, CH₄ e N₂O entre a plantação de cana-de-açúcar e a atmosfera, verificando-se ao longo do tempo se o agrossistema se comportou como fonte ou sumidouro com relação à atmosfera.

- Com relação aos fluxos de CH₄ os totais diários foram pequenos e altamente variáveis em média $30,9 \pm 37,6$ mg CH₄-CO₂eq m⁻² dia⁻¹, além de ocasionalmente terem sido observados valores negativos, indicando a oxidação;
- Foram observados totais de emissão na plantação de cana ao longo de cada ano de N₂O ($62,4 \pm 1,3$ e $52,3 \pm 1,8$ g N₂O-CO₂eq m⁻²) e CH₄ ($12,1 \pm 1,7$ e $10,4 \pm 2,3$ g CH₄-CO₂eq m⁻²);
- Os balanços de CO₂ obtidos ($-7643,0 \pm 129,0$ e $-4615,0 \pm 124,0$ g CO₂ m⁻²) indicaram que a fixação de carbono pela plantação foi capaz de neutralizar as emissões, mesmo considerando-se a remoção dos colmos nas colheitas (4923 ± 459 e 3929 ± 352 g CO₂ m⁻²), além da decomposição parcial da palha depositada após a primeira colheita (1581 ± 301 g CO₂ m⁻²).

RESULTADOS PRELIMINARES

- A primeira fertilização de nitrogênio (mistura líquida de NH₄, 80 kg N ha⁻¹) foi realizada após a colheita da cana planta (novembro de 2016); os fluxos de N₂O aumentaram exponencialmente e o total integrado ao longo de 70 dias (duração do efeito) foi de $129,0 \pm 4,4$ mg N₂O-N m⁻², representando aproximadamente 1,6% do N aplicado. Na segunda aplicação (NH₄NO₃ granulado, 100 kg N ha⁻¹) que ocorreu em setembro de 2017 (primeira soca), o aumento dos fluxos só foi observado após 15 dias em decorrência da precipitação. A duração do efeito da fertilização também foi 70 dias e o total emitido foi $70,3 \pm 3,1$ mg N₂O-N m⁻², representando 0,7% do N aplicado, valor inferior ao observado no ano anterior em função da diferença entre fertilizantes;

DESAFIOS

- A determinação dos balanços de CO₂ mostrou-se fundamental para a verificação da neutralização das emissões dos GEE N₂O e CH₄ na plantação de cana-de-açúcar.

SOLUÇÕES

- A metodologia empregada (*eddy covariance*) foi capaz de integrar as diferentes partes do agrossistema (solo-planta-atmosfera), fornecendo os balanços entre a fixação via fotossíntese e a respiração do solo e da planta.

DADOS PUBLICADOS EM:

CABRAL, O. M. R. et al. The sustainability of a sugarcane plantation in Brazil assessed by the eddy covariance fluxes of greenhouse gases. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107864>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Cabral, O.M.; Rocha, H.R.; Gash, J.H.; Ligo, M.A.; Ramos, N.P.; Packer, A.P.; Batista, E.R., 2013. Fluxes of CO₂ above a sugarcane plantation in Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 182, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.08.004>

Xin, Fengfei; Xiao, X.; Cabral, O.M.R.; White, Jr., P.M.; Guo, H.; Ma, J.; Li, B.; Zhao, B., 2020. Understanding the Land Surface Phenology and Gross Primary Production of Sugarcane Plantations by Eddy Flux Measurements, MODIS Images, and Data-Driven Models. *Remote Sens.* 12, 2186; <https://doi.org/10.3390/rs12142186>

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. Brasília: MCTI, 2013.

Figura: Torre de fluxos instalada na plantação de cana-de-açúcar.

**COORDENADORES DO PROJETO**

Dr. Osvaldo Machado Rodrigues Cabral

Embrapa Meio Ambiente

e-mail: osvaldo.cabral@embrapa.br

AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE SOLOS NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL: EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS E ORGÂNICOS COM ACÚMULO DE PALHA

Janaina Braga do Carmo¹; Solange Filoso²; Luciana do Carmo Zotelli³; Eráclito de Sousa Neto⁴; Leonardo Machado Pitombo¹; Paulo José Duarte Neto⁵; Vitor Paulo Vargas⁶; Cristiano Alberto de Andrade⁷; Glauber José de Castro Gava⁸; Raffaella Rossetto⁸; Heitor Cantarella³; André Elia Neto⁵; Débora Zumkeller Sabonaro¹; Luiz Antonio Martinelli⁴

1 Universidade Federal de São Carlos; 2 University of Maryland; 3 Instituto Agronômico de Campinas; 4 Universidade de São Paulo; 5 Universidade Federal Rural de Pernambuco; 6 Centro de Tecnologia Canaueira; 7 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 8 Agência Paulista de Tecnologia.

O objetivo do estudo foi realizar experimentos in situ para avaliar as taxas de emissão de três gases de efeito estufa (GEE), CO₂, N₂O e CH₄, na cultura de cana-de-açúcar no Brasil, sob diferentes práticas de aplicação de fertilizantes normalmente utilizadas nas principais etapas da cultura, com palha na superfície do solo, resultante da colheita mecanizada. Determinou-se se as emissões de GEE responderam a: I. método de fertilização usado na primeira parte do ciclo da cana (cana-planta); e II. acúmulo de palha da cultura na superfície do solo durante o ciclo subsequente da cana (cana-soca), com e sem a aplicação de resíduos líquidos (vinhaça) no campo.

O experimento em Jaú-SP foi conduzido para determinar se as emissões de GEE na cana-planta variam com os diferentes métodos de fertilização comumente usados no Brasil. Foram utilizados blocos casualizados, compostos por cinco tratamentos e quatro blocos, totalizando 20 parcelas, em uma área superior a 1.100 m². Cada parcela mediu 7 m x 8 m e continha cinco fileiras de 8 m de comprimento plantadas com cana-de-açúcar, espaçadas em 1,4 m. O experimento incluiu os tratamentos: T1- fertilizante mineral contendo N, P e K; T2- fertilizante mineral contendo N e K; torta de filtro adicionada como fonte de P; T3- fertilizante mineral contendo N e P, e vinhaça adicionada como fonte de K; T4- fertilizante mineral contendo N, torta de filtro e vinhaça adicionados como fontes de P e K; C - controle, sem adubo (orgânico ou mineral).

O experimento em Piracicaba-SP foi realizado para determinar o acúmulo de palha agrícola resultante da colheita mecanizada de cana-de-açúcar sem a prática de pré-queima. Também foram avaliados os efeitos do uso da vinhaça na cana-soca nas emissões de GEE. O experimento foi conduzido utilizando delineamento em blocos casualizados com tratamento fatorial 4 x 2, contendo quatro repetições, totalizando 32 parcelas em cinco fileiras de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento em intervalos de 1,4 m. Os fatores corresponderam à aplicação ou não da vinhaça em parcelas com quatro níveis diferentes de palha na superfície do solo (0, 7, 14 ou 21 Mg ha⁻¹, material seco).

No geral, duas parcelas foram usadas como tratamentos controle para contabilizar as emissões, enquanto as

outras parcelas foram tratadas com fertilizantes minerais, seguindo práticas comuns usadas na cana-soca.

No experimento da cana-soca (Piracicaba) foram coletadas amostras de gás por período durante 335 dias após a aplicação do fertilizante. As amostras foram coletadas utilizando câmaras de PVC instaladas nas parcelas experimentais, de acordo com Davidson e Schimel (1995) e Allen et al. (2010). Todas as amostras foram analisadas na Universidade Federal de São Carlos, em Sorocaba-SP, Brasil, utilizando o cromatógrafo a gás Shimadzu GC- 2014 (Shimadzu Co., Columbia, MD, EUA). Os fluxos de GEE foram calculados de acordo com Jantalia et al. (2008).

A taxa de emissão para cada experimento foi calculada usando regressão linear baseada na curva gerada a partir dos valores de gás medidos ao longo dos intervalos de 30 minutos. Os fatores de emissão de N₂O foram calculados subtraindo as taxas cumulativas de emissão das parcelas tratadas com fertilizante N. Os cálculos seguiram os métodos utilizados pelo IPCC (2006) e por Allen et al. (2010).

RESULTADOS PRELIMINARES

- Em geral, os fluxos de N₂O e CO₂ nas plantas de cana tratadas com fertilizantes orgânicos e minerais (T2, T3, T4) foram maiores do que os das tratadas apenas com fertilizantes minerais (T1) e superiores aos das plantas do tratamento controle (C) (figuras a-c);
- Diferente dos de N₂O e CO₂, os fluxos diários de CH₄ não diferiram significativamente entre os tratamentos. Pode-se verificar que apenas o tratamento com vinhaça e adubo mineral (T3) apresentou mudanças acentuadas nas emissões diárias no final do experimento. Entretanto, a variação nos fluxos diários entre as datas de amostragem foi maior que a variação entre os tratamentos, não resultando em diferenças significativas;

- Experimento com cana-planta (Jaú-SP) - Ao observar os dados de fluxos diários, estimamos que o uso de fertilizante orgânico combinado com fertilizante mineral (T2, T3 e T4) resultou em maiores emissões cumulativas de N_2O anualmente do que o uso de fertilizante mineral sozinho (Figura a). Mesmo quando as emissões de N_2O são levadas em consideração, fica claro que o tratamento somente com fertilizante mineral (T1) apresentava emissões cumulativas mais baixas anualmente do que os tratamentos com fertilizantes orgânicos;
- Experimento com a primeira cana-soca (Piracicaba-SP) - Diferente dos experimentos com cana-planta, as emissões acumuladas de N_2O geralmente aumentaram com a aplicação de fertilizante mineral e com a quantidade de palha que cobre o solo, independentemente da presença de vinhaça. No entanto, como as emissões no experimento utilizando vinhaça aumentaram não apenas nas linhas de cultivo, mas também no meio, os valores acumulados de emissões foram cerca de duas vezes mais altos no experimento com vinhaça (Figura g);
- Para o CO_2 as emissões acumuladas foram praticamente as mesmas nos tratamentos com e sem vinhaça. Nos dois experimentos, no entanto, o acúmulo de palha aumentou as emissões de CO_2 muito além dos valores observados no tratamento controle (Figura h/e);
- Tanto na cana-planta quanto na cana-soca, os maiores valores de CO_2eq foram relacionados ao uso de vinhaça;
- Na cana-planta, o valor máximo de emissão em CO_2eq foi de cerca de $1380 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em T4, enquanto na cana-soca as emissões excederam $3000 \text{ CO}_2eq \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os valores mínimos de emissão foram semelhantes em cana-planta e cana-soca, respectivamente, com 312 CO_2eq em T1 e 382 CO_2eq em T0, V-;
- Pode-se verificar um maior valor no fator de emissão de N_2O entre todos os experimentos e tratamentos para a cana-soca (Piracicaba-SP) tratada com vinhaça e a maior quantidade de palha agrícola na superfície do solo (21 mg ha^{-1});
- O fator de emissão do fertilizante mineral (nitrato de amônio) aplicado à cana-soca sem vinhaça variou de 0,68 a 2,03% de fertilizante aplicado, sendo o valor máximo associado ao maior volume de palha agrícola na superfície do solo;
- Quando a vinhaça foi aplicada, o fator de emissão variou de 0,59% a 3,03%, e o maior valor foi atrelado à maior quantidade de palha agrícola.

Além disso, embora os fatores de emissão tenham sido relativamente baixos para todos os tratamentos (abaixo de 21 mg ha^{-1}) de palha agrícola na ausência de vinhaça (V-), quando a vinhaça foi usada, os fatores aumentaram com a quantidade de palha no solo;

- Na cana-planta, as parcelas tratadas com vinhaça e adubo mineral apresentaram o maior fator de emissão (2,65% do N aplicado como fertilizante ureia). Sem vinhaça, o valor foi de 1,1%. A torta de filtro, que adicionou 62 kg N ha^{-1} , teve um fator de emissão semelhante ao da ureia.

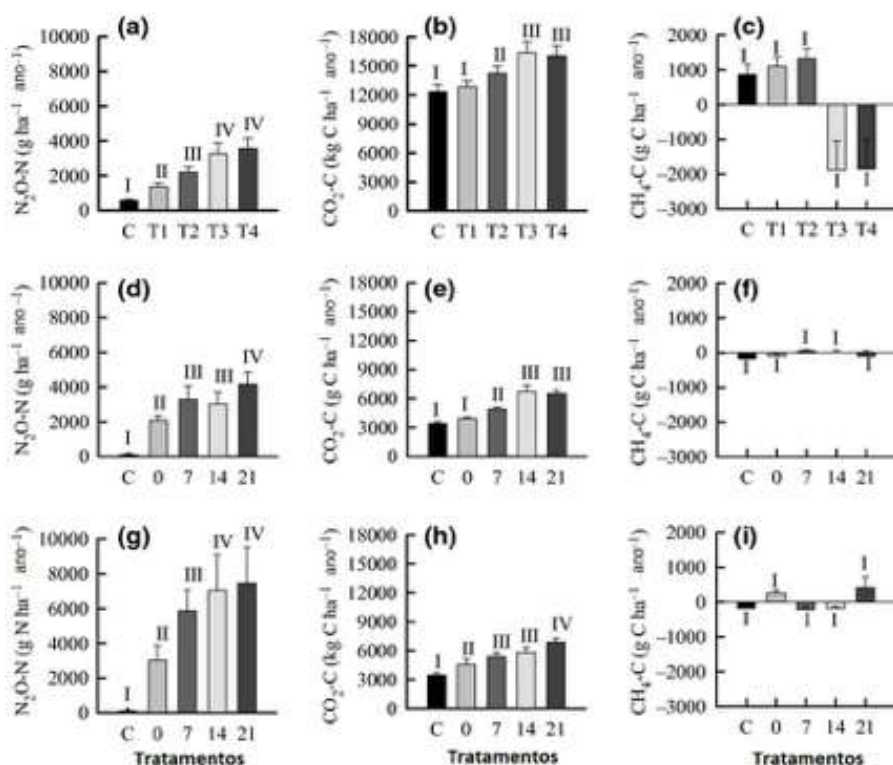
DESAFIOS

- O trabalho fornece dados *in situ* sobre emissões de GEE de solos em cana-de-açúcar no Brasil e uma caracterização abrangente das emissões associadas a diferentes práticas de aplicação de fertilizantes, comumente usadas no país e nas mudanças das práticas de colheita. Além disso, como o estudo inclui dados coletados durante toda a estação de crescimento das duas principais etapas da colheita e dados coletados de maneira particularmente intensa nas primeiras duas semanas após o preparo e aplicação de fertilizantes, fornece informações importantes sobre a variação temporal das emissões;
- No entanto, como muitas das condições que afetaram as emissões de GEE em nosso estudo, provavelmente são inerentes à região ou ao período estudado (por exemplo, características do solo, condições climáticas e concentrações de nutrientes nos fertilizantes). Assim, os resultados não são necessariamente aplicáveis a outras regiões do Brasil ou a qualquer outro lugar.

SOLUÇÕES

- Os resultados desse estudo devem ajudar não apenas a validar as estimativas disponíveis de emissões de GEE da cana-de-açúcar brasileira, mas também a avaliar melhor a capacidade líquida de economia de carbono do etanol no Brasil. Os sistemas de produção de cana-de-açúcar são diversos, e o entendimento de como as emissões mudam entre regiões e em outros cenários de gerenciamento deve ser uma prioridade de pesquisa para estudos futuros sobre as emissões de GEE de sistemas de cana-de-açúcar e produção de etanol.

Figura: Fluxos cumulativos de N_2O , CO_2 e CH_4 em cana-planta (Jaú-SP) e cana-soca (Piracicaba-SP)



DADOS PUBLICADOS EM:

CARMO, J. B. et al. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. *GCB-Bioenergy*, v. 5, n. 3, p. 267-280, 2013. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALLEN, D. E. et al. Effect of nitrogen fertilizer management and waterlogging on nitrous oxide emission from subtropical sugarcane soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 136, p. 209-217, 2010.

DAVIDSON, E. A.; SCHIMMEL, J. P. Processo microbiano de produção e consumo de óxido nítrico, óxido nitroso e metano. In: MATSON, P. S.; HARRISS, R. C. (ed.). *Gases de traço biogênicos: emissões de medição do solo e da água*. Oxford, Inglaterra: Blackwell Science, 1995. p. 327-357.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006. v. 4, cap. 11. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol14.html>.

JANTALIA, C. P. et al. Fluxos de óxido nitroso do solo sob diferentes rotações e sistemas de cultivo no sul do Brasil. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, v. 82, p. 161-173, 2008.

Fonte: própria autoria.

Nota: Os três painéis superiores (1a a 1c) mostram fluxos da cana-planta; os três painéis intermediários (1d a 1f) mostram fluxos da cana-soca sem vinhaça (V-); e os três painéis inferiores (1g a 1i) mostram fluxos da cana-soca com vinhaça (V+).

COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Janaina Braga do Carmo

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade (CCTS)

e-mail: jbcarmo2008@gmail.com



EMIÇÃO DE N₂O EM CANA-DE-AÇÚCAR COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE NITROGENADO E VINHAÇA NO CERRADO

Arminda Moreira de Carvalho¹, Jéssica Fonseca da Silva², Thomaz Adolpho Rein¹, Thais Rodrigues Coser¹, Walter Quadros Ribeiro Júnior¹, Douglas Lino Vieira³, Thais Rodrigues de Sousa³, David A. Coomes²

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ² University of Cambridge; ³ Universidade de Brasília

O aporte de nitrogênio (N) aos solos agrícolas, seja na forma de fertilizantes sintéticos e orgânicos, é o principal responsável pelas emissões de óxido nitroso (N₂O) e cerca de 1% do N aplicado na forma dessas fontes é convertido em N₂O. Esse “fator de emissão” pode variar em função do solo, do seu manejo e de outras práticas agrícolas, e em geral é inferior a 1% nas condições dos solos agrícolas bem drenados do Cerrado (Silva *et al.*, 2017), mas aumenta proporcionalmente com a dose aplicada de N. O Brasil atende cerca de 16% de suas necessidades energéticas com bioetanol e outros produtos da cana-de-açúcar e é líder mundial em produção de energia de biocombustíveis. No entanto, há preocupações ambientais com cana-de-açúcar dadas as altas emissões de N₂O associado à sua produção, já que seu potencial de aquecimento global é cerca de 298 vezes maior do que o do dióxido de carbono (CO₂) e permanece na atmosfera por mais de 120 anos. Esse trabalho teve por objetivo quantificar os fluxos de N₂O em cana-de-açúcar no Cerrado durante um ano, comparando a magnitude da resposta a diferentes tratamentos: nitrogênio mineral (N), vinhaça (V) e uma combinação de ambas (NV), em parcelas irrigadas e não irrigadas. Os fluxos de N₂O do solo no tratamento NV são, em média, pelo menos três vezes maiores do que aqueles nos demais tratamentos, resultando em quatro vezes a intensidade de emissões por rendimento do que quando N mineral ou vinhaça foram aplicados separadamente. A irrigação tem um efeito positivo, incrementando as emissões de N₂O nas primeiras duas semanas após adição de água e na produtividade anual da cana-de-açúcar. Os fatores de emissão variaram de 0,05 a 4,6% conforme o tratamento. Produção de cana-de-açúcar no Cerrado é uma fonte significativa de N₂O, devido ao efeito sinérgico do N mineral e da vinhaça. Portanto, a vinhaça como fertilizante principal ou aplicar N e vinhaça em intervalos bem espaçados são estratégias eficazes para mitigação de N₂O, nutrição de plantas, gestão de resíduos e produção econômica e ambientalmente sustentáveis.

- Amônio e nitrato no solo foram as principais co-variáveis para explicar os fluxos de N₂O. A desnitrificação é o processo dominante de produção de N₂O após a adição de fertilizantes devido entrada de N, que fornece substrato para microrganismos no solo.
- A irrigação aumenta os fluxos de N₂O devido a resposta da atividade microbiana à umidade elevada, resultando em altas taxas de mineralização.
- A combinação de vinhaça e N mineral promove emissões de N₂O, em média, pelo menos três vezes mais alto do que quando aplicados separadamente.
- Irrigação concomitante com N mineral e vinhaça, resulta em maiores quantidades de carbono lábil, potássio e N, que podem explicar os picos de N₂O de magnitude maior no tratamento irrigado com vinhaça e fertilizante N.
- Aplicações de vinhaça e fertilizante nitrogenado devem ser realizadas separadamente em pelo menos um mês, para evitar o efeito sinérgico da aplicação conjunta desses dois tipos de fertilizantes nas emissões de N₂O.

DESAFIOS

- Adição simultânea de N mineral e vinhaça pode promover incrementos significativos dos fluxos de N₂O em relação a cada fertilizante aplicado separadamente em cana-de-açúcar irrigada no Cerrado. É necessário identificar a melhor combinação dessas fontes, com doses e intervalo de aplicação.

RESULTADOS PRELIMINARES

- As emissões acumuladas de N₂O variaram entre os tratamentos avaliados, de 0,1 a 7,4 kg N-N₂O ha⁻¹ (Tabela 1).
- Fatores de emissão estão entre 0,05–4,59 %, (média 1,34 ± 0,68%) (Tabela 1).

SOLUÇÕES

- Usar a vinhaça como fertilizante principal ou aplicar N e vinhaça em intervalos bem espaçados são estratégias eficazes para mitigação das emissões de N₂O.

Tabela: Nitrogênio mineral total aplicado como fertilizante por ano (em Kg N ha⁻¹), rendimento (em Mg massa fresca de colmo ha⁻¹), cumulativo anual de emissões de N₂O (em Kg N-N₂O ha⁻¹) e fator de emissão (FE, em %) na cana-de-açúcar e Cerrado.

Tratamento	N aplicado	Rendimento da Colheita	Cumulativo N-N ₂ O	Fator de Emissão (%)
Controle	-	-	0.47 (0.0005)	-
N0	200	90 (15)	0.57 (0.02)	0.05 (0.002)
N75	200	132 (9)	0.78 (0.03)	0.16 (0.002)
NV0	202.7	92 (16)	2.34 (0.16)	0.92 (0.035)
NV75	202.7	138 (8)	2.91 (0.20)	1.20 (0.006)
V0	2.7	106 (4)	0.59 (0.03)	4.59 (0.18)
V75	2.7	127 (9)	0.50 (0.03)	1.11 (0.27)
Média		114 (8)	1.29 (0.43)	1.34 (0.68)
Cerrado	-	-	0.11 (0.003)	-

Média (± um erro padrão). Mediana (± desvio de dispersão absoluto médio).

COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Arminda Moreira de Carvalho

Embrapa Cerrados

e-mail: arminda.carvalho@embrapa.br

Dra. Magda Aparecida Lima

Embrapa Meio Ambiente

e-mail: magda.lima@embrapa.br

PARADIGMA NO MANEJO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR: AGRICULTURA CONSERVACIONISTA X COGERAÇÃO DE ENERGIA?

Ana Paula Packer¹; Cristiano Alberto de Andrade¹; Heitor Cantarella²; Iracema Alves Manoel Degaspari²; Nilza Patrícia Ramos¹; Raffaella Rossetto³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Ambiente; ² Instituto Agronômico de Campinas; ³ Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios

A manutenção da palha da cana-de-açúcar sobre o solo após a colheita mecânica, sem uso de queima, modificou nas últimas décadas o sistema de manejo da cultura, alterando variedades, adubação, controle de pragas, dentre outros aspectos. A remoção parcial ou total da palha do campo é motivada por interesse da indústria, principalmente para cogeração de energia, enquanto a manutenção total ou parcial dessa palha no campo atende a interesses agrônômicos e ambientais para uma agricultura conservacionista, que concilie a produção agrícola, com a preservação dos recursos naturais. Considerando que a cana-de-açúcar é uma cultura bioenergética e que as motivações mencionadas devem considerar o balanço de carbono do sistema, torna-se fundamental conhecer o efeito da manutenção da palha sobre o solo na emissão de gases do efeito estufa (GEE), principalmente de N_2O a partir da adubação nitrogenada.

Nesse sentido, foram obtidos fatores de emissão (FE) de N_2O do fertilizante nitrogenado aplicado em dose correspondente a 0 e 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de amônio (adubação de soqueira), na ausência ou presença de palha, até 12 Mg ha⁻¹. Os experimentos foram realizados em Araras-SP (ARA) e Iracemápolis-SP (IRA), na safra 2012/2013, e em Guairá-SP (GUA), na safra 2014/2015, em cana de 1ª soca em Guairá-SP e Iracemápolis-SP, e de 3ª soca em Araras-SP. Após a adubação as emissões de N_2O foram quantificados durante 250 dias usando a metodologia de câmaras estáticas, instaladas na faixa de fertilização.

Na ausência de N, as emissões N_2O -N variaram de 15,7 a 40,0 mg m⁻² com o solo sem a presença de palha, aumentando para 29,2 a 41,8 mg m⁻² com cerca de 12 Mg ha⁻¹ de massa seca de palha. Com a aplicação de fertilizante nitrogenado as emissões de N_2O -N aumentaram e foram positivamente relacionadas com as quantidades de palha sobre o solo. Tais valores variaram entre 45 e 124 mg m⁻² nas parcelas sem palha e entre 371 a 429 mg m⁻² quando havia 12 Mg ha⁻¹ de palha. O FE do fertilizante nitrogenado foi bastante baixo na ausência de palha, variando de 0,03 a 0,10% do N aplicado, mas esses valores aumentaram para 0,48 a 0,54% nas parcelas com 12 Mg ha⁻¹ de palha. Na presença de quantidades intermediárias de palha sobre o solo (4,3 e 7,7 Mg ha⁻¹ de massa seca) os valores de FE estiveram entre 0,13 e 0,17% do N aplicado, semelhante a emissão do solo sem palha em Araras-SP e Guairá-SP.

É importante ressaltar que, em todos os tratamentos com adubação nitrogenada, seja na ausência ou na presença de palha, os valores do FE obtidos (Tabela) foram bastante inferiores ao valor default do IPCC de 1% do N aplicado.

Em termos de produção de colmos, a manutenção da palha proporcionou incrementos de produtividade nos experimentos de Araras-SP e Guairá-SP. Um aspecto frequentemente associado à presença de palha no campo e ao consequente ganho de produtividade diz respeito ao efeito da palha na manutenção da umidade do solo. Em Guairá-SP, na safra 2014/2015, tal aspecto deve ter sido especialmente importante, uma vez que as chuvas ficaram abaixo do esperado, acarretando uma queda de 10% na produtividade. Em Iracemápolis-SP, não se observou ganho de produtividade com a manutenção da palha de cana, o que pode ser função do tipo de solo na área experimental, de textura muito argilosa.

Ponderando-se as emissões de N_2O -N pela produtividade de colmos (Tabela), obteve-se a intensidade de emissão, parâmetro fundamental na medida do impacto da manutenção de diferentes quantidades de palha sobre o solo. A questão é que se mantendo 100% da palha sobre o solo, algo da ordem de 12 Mg ha⁻¹ de palha, a emissão de N_2O por unidade de produto difere do valor obtido quando não há manutenção da palha sobre o solo, sugerindo impacto negativo maior no balanço de C da produção de cana. No entanto, a intensidade de emissão de N_2O -N para as quantidades intermediárias de palha (4,3 e 7,7 Mg ha⁻¹ de massa seca) não difere do valor encontrado no solo sem palha.

Conclui-se, então, que o recolhimento parcial da palha de cana-de-açúcar para fins energéticos na indústria pode ser alinhado aos interesses agrônômicos e ambientais de manutenção da parte da palha no campo, uma vez que mantendo-se proporções inferiores a 100% de palha (< 8 Mg ha⁻¹) no campo têm-se ganhos de produtividade, sem emissões adicionais de N_2O -N por unidade de produto agrícola.

RESULTADOS PRELIMINARES

- O FE do fertilizante nitrogenado foi bastante baixo na ausência de palha (0,03 a 0,10% do N aplicado),

mas esse valor aumentou para 0,48 a 0,54% quando 12 Mg ha⁻¹ de palha foram mantidas sobre o solo. Os valores obtidos de FE para o fertilizante nitrogenado são inferiores ao default do IPCC de 1%;

- A manutenção de palha sobre o solo propiciou ganhos de produtividade de colmos de cana-de-açúcar;
- As emissões de N₂O-N por unidade de produto (massa de colmos) nos tratamentos com níveis intermediários de palha (4,3 e 7,7 Mg ha⁻¹ de massa seca) são semelhantes às do solo sem palha, porém com ganhos de produtividade da cultura.

de N₂O dos solos são fortemente influenciadas pelo uso de fertilizantes nitrogenados e as contribuições de informações de países tropicais das possíveis emissões de N₂O dos solos com presença de resíduos de palha e de aplicação de fertilizantes são escassos na literatura científica;

- A aplicação de nitrato de amônio sem a presença de grande quantidade de palha na linha de adubação (por exemplo, a aplicação do fertilizante após enleiramento da palha) é uma estratégia de mitigação dos gases de efeito estufa.

DESAFIOS

- A metodologia de monitoramento das emissões com câmaras estáticas envolve uso intenso de recursos humanos e material, tornando a atividade onerosa, pois há que se prever equipe e recursos suficientes para a quantificação dos gases por períodos prolongados de tempo;
- A dependência das emissões de N₂O com relação à distribuição de chuvas no período experimental e a interação com o tipo de solo demandam grande volume de resultados para o devido posicionamento dos órgãos de pesquisa frente ao setor produtivo e aos organismos internacionais normatizadores.

SOLUÇÕES

- A sustentabilidade da produção de bioenergia está em reduzir as emissões de GEE a partir da produção agrícola da matéria-prima. As emissões

DADOS PUBLICADOS EM:

DEGASPARI, I. A. M. Emissões de gases de efeito estufa decorrentes de práticas de adubação nitrogenada e níveis de palha no cultivo de cana-de-açúcar. 2019. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2019. Orientador: Heitor Cantarella. Coorientação: Ana Paula C. Packer.

DEGASPARI, I. A. M.; PACKER, A. P.; CARMO, J. B.; RAMOS, N. P.; ROSSETTO, R. Emissão de N₂O e de CO₂ em cultivo de cana-de-açúcar em função da presença de palha sobre o solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., Florianópolis, 2013. (Tema: Ciência dos solos: para quê e para quem).

PACKER, A. P.; DEGASPARI, I. A. M.; RAMOS, N. P.; ROSSETTO, R.; MORASI, I. M.; CABRAL, O. M.; MAXIMILIANO, V. C.; SANTOS, J. O. Site-specific N₂O emission from soil related to fertilization and sugarcane trash addition. In: 16th World Fertilizer Congress of CIEC: Technological innovation for a sustainable tropical agriculture-fertilizers and environmental impacts. Rio de Janeiro, 2014. p. 208.

COORDENADOR DO PROJETO

Dra. Ana Paula Packer

Embrapa Meio Ambiente

e-mail: paula.packer@embrapa.br

Sistema de produção	Local	Níveis de palha (Mg ha ⁻¹)	Produção (Mg ha ⁻¹)	Intensidade de emissão N ₂ O (kg CO ₂ eq Mg ⁻¹ cana)	FE-N ₂ O (%)
OST + N	ARA	0	99,4 ± 21,8 a	2,85 ± 0,65 a	0,08 a
100ST + N	ARA	12	131,8 ± 15,1 b	14,6 ± 3,11 b	0,54 b
OST + N	IRA	0	95,6 ± 8,1 a	1,23 ± 0,54 a	0,03 a
50ST + N	IRA	6	85,1 ± 16,1 a	5,20 ± 1,74 a	0,13 a
100ST + N	IRA	12,3	91,3 ± 19,1 a	19,4 ± 4,41 b	0,48 b
OST + N	GUA	0	87,6 ± 9,6 a	4,60 ± 1,76 a	0,11 a
36ST + N	GUA	3,6	103,6 ± 12,2 ab	5,55 ± 1,26 a	0,16 a
64ST + N	GUA	7,2	109,1 ± 15,0 b	5,41 ± 0,65 a	0,17 a
100ST + N	GUA	11,5	102,3 ± 12,8 ab	15,9 ± 5,43 b	0,45 b

Legenda: 1 Experimentos realizados nos seguintes municípios do estado de São Paulo: ARA = Araras, IRA = Iracemápolis, e GUA = Guaiara.

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (n = 4).

2

FATORES DE EMISSÃO E REMOÇÃO PARA GRÃOS



Produção de grãos: estratégias para mitigar as emissões de GEE e manter a produtividade das culturas

Juan Vicente Guadalupe Gallardo¹; Magda Aparecida de Lima²; Rogério Gonzatto³; Fernanda Garcia Sampaio^{2,4}; Katia Marzall⁴; Eleneide Doff Sotta^{2,4}

¹ Consultor autônomo; ² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa; ³ Universidade Federal de Santa Maria; ⁴ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos. Nos últimos 48 anos, aumentou sua produção em 703%, sem ampliar a área plantada na mesma proporção (172%) (EMBRAPA, 2019). O contínuo crescimento se reflete na estimativa de produção recorde para a safra 2019/2020, a qual deverá atingir 251,9 milhões de toneladas de grãos. Esta estimativa aponta um incremento de 9,9 milhões de toneladas em comparação à safra de 2018/2019, que foi de 242,1 milhões de toneladas (CONAB, 2019a; 2020). Essa pujança pode ser associada ao aumento da eficiência de uso dos insumos agrícolas e do aproveitamento da terra, resultando em significativos incrementos de produtividade nos últimos dez anos. Atualmente, a produtividade média por área é de 3,83 toneladas ha⁻¹. A área de plantio em 2018/2019 foi de 63,2 milhões de hectares, com um acréscimo de 2,4% em relação a 2017/2018 (CONAB, 2019a). As culturas de grãos como soja, milho e arroz foram as mais cultivadas no país na safra de 2018/2019 (CONAB, 2019b).

O cultivo do arroz irrigado sob inundação tem grande relevância econômica no sul do Brasil, especificamente no estado do Rio Grande do Sul, cuja área cultivada supera um milhão de hectares todo o ano e cuja produção representou, em 2018, cerca de 80% do total produzido em todo o Brasil (CONAB, 2019a). No entanto, sob condições de inundação do solo são potencializadas as emissões de metano (CH₄) para a atmosfera.

O CH₄ é um gás de efeito estufa (GEE) com elevado potencial de aquecimento global (PAG) e com capacidade de absorção do calor (radiação infravermelha) 28 vezes maior (GWP AR5 do IPCC) à do dióxido de carbono (CO₂). Outro gás que pode ser produzido durante o cultivo do arroz é o óxido nitroso (N₂O), o qual possui um PAG aproximadamente 10 vezes maior (GWP AR5 do IPCC) que o PAG do CH₄, porém suas emissões são menores em sistemas com solos saturados com água.

A emissão de metano no cultivo de arroz irrigado sob inundação decorre da decomposição anaeróbica da matéria orgânica do solo, o que gera a formação de gases, entre eles, o metano. Devido a uma adaptação a condições de solo inundado, a planta de arroz possui um tecido aerado, o aerênquima, que constitui a principal via de fluxo de gases através das plantas (AULAKH et al., 2000). Os resíduos culturais deixados pelo cultivo de arroz alteram as condições de oxirredução do solo, com efeitos distintos sobre as emissões de CH₄ e N₂O para a atmosfera. O material orgânico adicionado ao solo pode potencializar as emissões de CH₄, ao disponibilizar carbono (C) lábil para os microrganismos metanogênicos (KIM et al., 2012, 2013). Por outro lado, a supressão da entrada de água de irrigação nos arrozais pode mitigar significativamente as emissões de CH₄. Ao se suprimir a irrigação e promover a difusão do

oxigênio no solo, cria-se um ambiente favorável à produção de N_2O no processo de oxidação do amônio para nitrato (nitrificação), e, caso a disponibilidade de O_2 seja reduzida novamente, no processo desnitrificação - quando o aceptor final de elétrons passa a ser o nitrato e não mais o oxigênio (ZOU *et al.*, 2007).

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), por meio de suas diretrizes metodológicas de elaboração de inventários de emissão de gases de efeito estufa, tem destacado os diferentes impactos das práticas de manejo de resíduos e da água de irrigação. No Brasil, a pesquisa tem se mobilizado para estudar e entender os possíveis efeitos do manejo da água de irrigação (contínuo ou intermitente, por exemplo), bem como dos diferentes sistemas de manejo de resíduos agrícolas e sistemas de plantio, sobre as emissões de GEE e na produtividade das culturas.

No Brasil, a soja ocupa um lugar de destaque no cenário nacional das culturas de grãos, pois responde por 35,9% de todas as culturas agrícolas e 24,5% da produção agropecuária do País (GASQUES, 2018). Por ser uma leguminosa, a soja não necessita receber adubação nitrogenada via fertilizantes sintéticos. O aporte de N para atender suas necessidades fisiológicas ocorre por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), a qual é capaz de suprir entre 72% e 94% do N demandado pela planta (ALVES *et al.*, 2003; HUNGRIA *et al.*, 2005). O N disponibilizado após a mineralização dos resíduos culturais da soja pode ser aproveitado, principalmente quando sistemas de sucessão com gramíneas são utilizados (por exemplo, soja/milho) (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

A área destinada à produção de soja no país vem crescendo desde 2004, permanecendo sempre acima dos 30 milhões de hectares, dos quais 80% se localizam nas Regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil (CONAB, 2017). A produtividade vem evoluindo nos últimos anos, passando de 2.000 a 2.400 kg ha⁻¹, nas safras 2003/2004 a 2005/2006, para 3.385 kg ha⁻¹, em 2017/2018. Já a produção passou de 49,8 milhões de toneladas, na safra 2003/2004, para 119 milhões de toneladas na safra 2017/2018, correspondendo a um incremento de 139% (EMBRAPA, 2018).

As emissões de N_2O no cultivo da soja estão, geralmente, mais associadas à decomposição dos resíduos vegetais, principalmente na fase final do ciclo, quando ocorre senescência das folhas, e ao uso de leguminosas na adubação verde em rotação com soja, as quais incorporam quantidades importantes de N ao solo (ALVES *et al.*, 2014). Atualmente, a FBN não é considerada, no Inventário Nacional (IN) de GEE, como uma fonte de emissão de N_2O , pois faltam evidências de que as emissões resultantes desse processo biológico sejam significativas para o montante global da atividade agrícola (IPCC, 2006; ALVES *et al.*, 2014; BRASIL, 2016).

O milho, por sua vez é a segunda cultura mais plantada do País, com uma área aproximada de 18,5 milhões de hectares na safra 2019/2020 e uma produção de 102 milhões de toneladas (primeira, segunda e terceira safras) e uma produtividade de 5,5 toneladas ha⁻¹ (CONAB, 2020c). O uso de fertilizantes nitrogenados tem sido fundamental para alcançar as altas produtividades de milho. Por isso, a ureia é uma das fontes nitrogenadas mais utilizadas na cultura, apesar de ser uma fonte passível de grandes perdas de N por volatilização de amônia, além de contribuir indiretamente com as emissões de N_2O com as emissões de N_2O (MOTA *et al.*, 2015).

O consórcio de soja ou milho safrinha, em combinação com a crotalária (leguminosa) ou a braquiária (gramínea forrageira), tem beneficiado os produtores que o tem adotado, pois, além do aspecto agrônomo e ambiental que a cobertura vegetal representa para o solo, ao reduzir

a incidência de nematóides e maximizar o estoque de nutrientes, este consórcio também tem se mostrado interessante economicamente, pois, se bem manejado, garante boas produtividades das culturas de grãos e de carne (EMBRAPA, 2013). Atualmente, o milho safrinha representa quase 50% da produção brasileira, com uma produtividade de 5,1 toneladas ha^{-1} , que é muito semelhante à média da produtividade do milho safra (CONAB, 2018).

Segundo o 3º IN de emissões de GEE, em 2010, as emissões brasileiras de CH_4 da cultura do arroz irrigado por inundação contínua foram de 455,3 Gg CH_4 , representando 98,1% do total das emissões de metano (464,2 Gg CH_4) associadas à cultura. As emissões provenientes do arroz cultivado em várzeas (sujeitas a alagamentos) representaram apenas 1,9% do total das emissões de metano. Devido à carência de estudos mais aprofundados sobre a produção de arroz em diferentes regimes de inundação e sobre outros fatores que interferem nas emissões de CH_4 , no 3º IN, foram utilizados os fatores padrão do IPCC (FEp) para os cálculos das emissões, exceto para o caso de arroz produzido no Rio Grande do Sul, que contou com fatores específicos de emissão.

Nas diretrizes metodológicas do IPCC (2006) para o cálculo de emissões de CH_4 da cultura do arroz com Tier 1, foi definido um FEp base de 1,3 kg de CH_4 $\text{ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$ (com intervalo de incerteza de 0,80-2,20) para campos não inundados por menos de 180 dias antes do cultivo de arroz e para campos continuamente inundados durante o período de cultivo de arroz sem adições de fontes de C orgânico. Para condições relacionadas ao regime de água, as diretrizes fornecem FEp com valor de 0,78 e intervalo de incerteza de 0,62-0,98 para água durante o período de cultivo (SFw); e também um valor de 1,22 com intervalo de incerteza de 1,07-1,40 para água antes do período de cultivo (SFp). Ainda, são definidos FEp para o caso de adições orgânicas no cultivo do arroz.

As emissões de N_2O que provêm da produção do milho, soja e arroz são contabilizadas no IN como emissões diretas, tanto dos resíduos culturais que são incorporados nos solos como pela aplicação de fertilizantes sintéticos no processo produtivo. As emissões de N_2O associadas aos resíduos culturais foram de 27,1 Gg N_2O , correspondendo a 6% do total de N_2O emitido dos solos agrícolas, em 2010. Já as emissões diretas de N_2O pelo uso de fertilizantes sintéticos foram um pouco maiores e representaram 7,9% do total de N_2O emitido. No entanto, o 3º IN ainda não reporta as emissões de N_2O desagregado por tipo de cultura, sendo utilizados os FEp para o cálculo das emissões.

Para o cálculo das emissões diretas de N_2O a partir de solos manejados, as quais se relacionam com a quantidade de N_2O emitida pela aplicação de N sintético e orgânico nos solos, incluindo os resíduos de culturas e a mineralização de C orgânico do solo, o IPCC (2006) fornece o fator de emissão EF1, que tem um valor de 0,01, e um intervalo de incerteza de 0,003-0,03. Esse valor corresponde a uma porcentagem de 1% do N aplicado aos solos ou liberado por meio de atividades que resultam na mineralização da matéria orgânica em solos minerais.

As contribuições recebidas na presente coletânea foram principalmente de resultados obtidos para a produção de soja, milho e arroz. Em especial, ressalta-se a contribuição dos resultados das pesquisas dos Projetos AGROGASES e FLUXUS, que estudaram a dinâmica de gases de efeito estufa (CO_2 , N_2O e CH_4) e o balanço de carbono em sistemas de produção de grãos em diferentes biomas do País. Sabe-se, entretanto, que a coletânea não representa a realidade do total de pesquisas realizadas porém, através das contribuições presentes, é possível evidenciar que existem importantes avanços no conhecimento das práticas de manejo no cultivo da soja, do milho e do arroz e na identificação das lacunas do conhecimento que são necessárias preencher para garantir a sustentabilidade dessas culturas. Por outro lado, apesar do reduzido número de contribuições recebidas mesmo dos grãos para a presente coletânea, pode-se notar o esforço institucional na pesquisa da cultura do arroz, em temas relacionados à avaliação de

práticas de manejo para mitigar emissões de N_2O e CH_4 em sistemas de produção de arroz irrigado, especialmente no estado do Rio Grande do Sul.

A seguir, serão descritos brevemente parte dos resultados dos estudos que serão abordados neste capítulo os quais destacam o esforço e os avanços atingidos.

Com a finalidade de verificar a adequação dos FE_p que estão sendo utilizados no país para a estimativa de emissões de N_2O provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados e outras fontes de N, Jantalia *et al.* (p. 80) realizaram a avaliação dos fluxos de N_2O ao longo de dois anos sobre diferentes rotações de culturas (por exemplo, soja/trigo, milho/trigo, soja/ervilhaca) em sistemas de cultivo sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em um experimento de 18 anos realizado em latossolo, numa localidade próxima à cidade de Passo Fundo-RS. As emissões de N_2O não foram influenciadas pelo sistema de PD ou de rotação de culturas. Embora as emissões medidas em campo para os tratamentos com rotação de culturas que receberam altas taxas de fertilizante nitrogenado no segundo ano sejam significativamente subestimadas pelo fator de emissão FEI do IPCC, para os outros tratamentos, as emissões se apresentaram na faixa de incerteza do FEI. Porém, tais emissões têm valor sempre consideravelmente inferior à estimativa do FEI do IPCC, o que sugere que o FE_p superestima as verdadeiras emissões de N_2O no solo avaliado.

Camargo e Bayer (p. 77), que avaliaram as emissões de CH_4 e N_2O e o potencial de mitigação do arroz cultivado com irrigação intermitente no estado do Rio Grande do Sul, encontraram que as emissões de CH_4 foram reduzidas ao serem adotados os sistemas intermitentes de irrigação, e que a secagem do solo favoreceu os processos responsáveis pela produção do N_2O , independente das condições edafoclimáticas, enquanto que, nos períodos com manutenção da lâmina de água sobre o solo, em todos os tratamentos, locais e safras, os valores de emissão de N_2O mantiveram-se próximos de zero, ou mesmo negativos. A emissão sazonal oscilou entre 117 a 745 kg CH_4 ha⁻¹, sendo estimado um fator regional médio de emissão de 368 kg CH_4 ha⁻¹, que é 18% maior do que o FE_p de 300 kg CH_4 ha⁻¹.

Em estudo similar realizado por Lima *et al.* (p. 84) nas cidades de Pindamonhangaba-SP, Tremembé-SP e Itajaí-SC, foram gerados fatores de emissão, expressos em kg CH_4 ha⁻¹ d⁻¹, para os seguintes sistemas de manejo: I. sistemas de irrigação contínua e intermitente em sistema de transplantio, nas safras de 2002/2003, 2003/2004, 2004/2005 em Pindamonhangaba-SP; II. sistema de irrigação contínua em sistema de transplantio na safra de 2005/2006 em Pindamonhangaba-SP; III. sistema de irrigação contínua em sistema pré-germinado na safra de 2006/2007 e 2007/2008, em Itajaí-SC. Os resultados mostraram que o sistema de irrigação intermitente não apresentou diferença significativa nas emissões de CH_4 em relação à irrigação contínua, muito em parte devido a fatores climáticos ocorridos em cada ano (LIMA *et al.*, 2014), embora o padrão diferenciado de emissão entre os dois tratamentos, ao longo das estações de crescimento, permita indicar possíveis estratégias de mitigação. Entretanto, na safra de 2004/2005, observou-se uma redução de 37% nas emissões em função do uso de manejo intermitente. Lima *et al.* (2019) observaram também que o sistema pré-germinado praticado em algumas áreas do país tende a apresentar altas taxas de emissão de metano, mas que a semeadura em solo seco, com a redução do período de inundação, pode ser indicada como uma medida de mitigação nesse tipo de sistema (LIMA *et al.*, 2007; EBERHARDT *et al.*, 2009).

Jantalia *et al.* 2008 (p. 80) avaliaram o efeito da fertilização do milho com ureia pastilhada na dose de 150 kg N ha⁻¹ em um sistema de preparo convencional do solo na área experimental da Embrapa Tabuleiros Costeiros (Aracaju-SE), em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, e os fluxos de N_2O medidos durante dois anos. Não foi observada nenhuma relação entre os fluxos de N_2O e o espaço poroso saturado por água (% EPSA) ou N mineral. Os fatores de emissão (FE) para N_2O mudaram de acordo com a precipitação acumulada no

ano agrícola e permanecem acima do FE_p (< 1%), em 2015, e abaixo do FE_p, em 2016. Esses resultados sugerem a necessidade de ter continuidade nos estudos de fertilização com ureia pastilhada e aumentar o número e a frequência das avaliações de fluxos de gases em outros locais e pontos de amostragem.

Oliveira *et al.* (p. 86) mediram os fluxos de N₂O e seus efeitos interativos com a sazonalidade pluviométrica e a rotação cultural no bioma Cerrado em um experimento de longa duração (19 anos) em vários sistemas agrícolas: I. plantio direto com rotação soja-sorgo (PDR1); II. plantio direto com rotação milho-guandu (PDR2); III. plantio convencional com soja sem safrinha (PC), tendo como referência a vegetação nativa do Cerrado (CE). Também foi estudada a relação entre matéria orgânica e emissões de N₂O sob diferentes sistemas de manejo. Os resultados indicaram que os sistemas de plantio direto com rotação de culturas, quando comparados com o sistema de plantio convencional com soja e sem rotação, contribuem para a mitigação das emissões de N₂O. A definição de um sistema de plantio direto com potencial mitigador depende das espécies utilizadas na rotação.

Carvalho *et al.* (p. 88) avaliaram os efeitos de plantas de cobertura e do fertilizante nitrogenado nos fluxos de N₂O do solo com cultivo de milho, em sistema plantio direto no Cerrado, na estação experimental da Embrapa Cerrados (Planaltina-DF), no período entre 01/11/2013 e 01/03/2016, em Latossolo Vermelho. Os tratamentos foram distribuídos em parcelas representadas por seis plantas de cobertura semeadas em sucessão ao milho. A vegetação nativa de Cerrado foi o tratamento referência. Para todas as plantas de cobertura avaliadas, a adição de N em cobertura na cultura do milho resultou em maiores emissões acumuladas de N-N₂O ($p < 0,005$), nos dois ciclos da cultura. Nos tratamentos sem a adição de N em cobertura, não houve diferenças significativas entre as plantas de cobertura em relação às emissões acumuladas de N-N₂O, também nos dois ciclos do milho.

Madari *et al.* (p. 90) realizaram uma revisão de literatura para extrair padrões de emissões diretas de N₂O de solos de diferentes ecossistemas no Brasil. Encontrou-se que os fluxos de N₂O de ecossistemas naturais exibiram uma ampla gama de valores. As taxas médias anuais de fluxo foram mais altas nas florestas tropicais da Amazônia e da Mata Atlântica (respectivamente, 2,42 e 0,88 kg N-N₂O ha⁻¹), sendo as emissões dos solos do Cerrado próximas a zero. As emissões de pastagens diminuíram com o aumento do tempo após a conversão, e isso foi associado à degradação das pastagens. Foram reportados, nas áreas de cultivo, valores relativamente baixos de fluxos de N₂O-N (-0,07 a 4,26 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹, mediana 0,80 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹) e baixas respostas à fertilização.

Campanha *et al.* (p. 100) avaliaram o efeito do sistema de manejo, com e sem prática da fertilização nitrogenada, nas emissões de N₂O em latossolo cultivado com milho sob sequeiro, na região do Cerrado, e no fator de emissão de óxido nitroso. Para isso, durante um ano (2014-2015), foram estudadas lavouras de milho em monocultura sob plantio convencional (CT) e plantio direto (NT), com (I) e sem (O) aplicação de fertilizante nitrogenado (0 e 257 kg N ha⁻¹), na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG. No plantio convencional (CT), os resíduos foram incorporados com grade pesada, seguida de grade niveladora, e, para o plantio direto (NT), não houve revolvimento do solo sobre a palhada. Os resultados mostraram que, com adubação nitrogenada, o sistema plantio direto (NTI) emitiu 30% menos N₂O que o sistema de cultivo convencional (CTI), durante o período em que a cultura esteve no campo. Os fatores de emissão foram de 0,96% no sistema de plantio convencional (CTI) e de 0,79% para o sistema de plantio direto (NTI), valores estes inferiores, embora dentro da faixa de incerteza, ao sugerido como padrão do IPCC, de 1% (0,3 a 3%).

Marchão *et al.* (p. 88) quantificaram o estoque de carbono e a emissão de GEE em sistemas milho/braquiária no bioma Cerrado. Os estudos foram realizados prioritariamente em experimentos de longa duração. Caracterizaram-se os estoques de C e N no solo e na palhada/cobertura do solo. Foram levantados os fluxos de N_2O no solo e as variáveis edafoclimáticas (por exemplo, biomassa, nitrogênio mineral, teor gravimétrico de água, temperatura do solo e do ar, precipitação pluviométrica, entre outras). A matéria orgânica do solo foi avaliada em relação à quantidade e à qualidade. Os dados de atributos químicos e microbiológicos do solo e da matéria orgânica foram relacionados às emissões de N_2O , buscando compreender as relações existentes, levando em conta o manejo do solo. Constatou-se que os sistemas de integração lavoura-pecuária emitem menos N_2O , quando comparados às lavouras em sistema de plantio convencional, devido às gramíneas forrageiras, que desenvolveram todo o potencial do seu sistema radicular (mediante aprofundamento de suas raízes no solo e depositando matéria orgânica mais difícil de ser degradada), com um importante efeito físico no solo, protegendo e estabilizando a matéria orgânica do solo e mitigando as emissões.

Sciavittaro *et al.* (p. 97) avaliaram, ao longo de quatro safras agrícolas (2013/2014 a 2016/2017), as emissões de GEE associadas ao uso de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada no cultivo de arroz irrigado, em comparação à fonte solúvel tradicional (ureia), para estabelecer fatores de emissão de amônia (NH_3) e N_2O de fontes nitrogenadas, na Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS. Foi observado que a adubação nitrogenada com fontes solúvel ou de eficiência aumentada otimiza o desempenho agrônomo e produtivo da cultura de arroz irrigado. O CH_4 contribui com mais de 90% para o potencial de aquecimento global parcial do arroz irrigado, independentemente da fonte utilizada na adubação nitrogenada. A volatilização de NH_3 é uma fonte de perda de N de menor importância para o arroz irrigado. A emissão de N_2O é a principal via de perda de nitrogênio de cultivo de arroz irrigado. Todas as fontes nitrogenadas avaliadas apresentaram fator de emissão de N_2O superiores ao valor de referência de 1% proposto pelo IPCC.

Gonzatto *et al.* (p. 68) avaliaram as perdas de N para a atmosfera por volatilização de NH_3 e por emissão de N_2O após a aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) no milho, com e sem a presença de resíduos culturais de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) na superfície do solo. O estudo foi realizado a campo, em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, na área experimental do setor de Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Os resultados apresentados se relacionam apenas às taxas de emissão de N_2O , as quais foram avaliadas durante 90 dias, entre os meses de janeiro e abril de 2011, em quatro tratamentos: T1 - Solo (Testemunha); T2 - Solo + DLS (DLS); T3 - Solo + Palha de aveia-preta (Palha); T4 - Solo + Palha + DLS (Palha + DLS). Para a avaliação da volatilização de NH_3 , foram utilizados somente os tratamentos "Palha", "DLS" e "Palha + DLS". Entre os principais resultados, destaca-se que as emissões de $N-N_2O$ aumentaram logo após a aplicação dos DLS, principalmente quando eles foram aplicados sobre os resíduos culturais de aveia-preta. Os maiores picos de emissão de N_2O ocorreram após as irrigações e/ou precipitações.

Os FE determinados em estudos nacionais, sintetizados nas diferentes contribuições recebidas, evidenciam a importância do aprofundamento e da ampliação do horizonte temporal das pesquisas, para validar os atuais resultados obtidos e aprimorar esses valores por meio de testes em diferentes cenários de manejo, condições ambientais e regiões do País. Para o caso das emissões de N_2O , a maioria dos valores do FE foi reportada dentro da faixa de incerteza do FE1 (0,3%-3%), porém, em sua maioria, os valores foram inferiores a 1%. Isso sugere que o uso de FEp pode estar superestimando as estimativas nacionais de emissão diretas de N_2O pelas culturas de grãos no Brasil.

De acordo com os autores que contribuíram para a presente coletânea, os desafios que ainda devem ser enfrentados pela pesquisa abrangem desde aspectos financeiros relacionados com a disponibilidade de maiores recursos para dar continuidade e ampliar o período das avaliações em diferentes locais e pontos de amostragens, até aspectos próprios de pesquisa, relacionados a combinações práticas e insumos de manejo, a recursos humanos treinados para a coleta e a análise de amostras de gases.

No caso da cultura do arroz, uma maior disponibilidade de recursos financeiros permitiria monitorar fluxos sazonais de CH_4 em áreas de arroz irrigado por um período mais longo, o que possibilitaria avaliar várias estações de crescimento, sistemas de preparo do solo, diferentes possibilidades de manejo de água, variedades de arroz, considerando também as diferentes respostas dos sistemas de cultivo às condições climáticas.

O exercício de compilação de FE nacionais realizado no capítulo de grãos desta coletânea e a comparação com FEp evidenciam a importância de definição de FE nacionais e, portanto, ressaltam a necessidade da realização de estudos de emissões de GEE nas diferentes culturas de grãos. A definição de FE para as condições tropicais permite que os relatórios de estimativas de emissões provenientes do cultivo de grãos no IN reflitam, de forma mais adequada, os esforços brasileiros para uma produção mais sustentável.

Referências bibliográficas

ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant Soil*, v. 252, p. 1-9, 2003.

ALVES, B. J. R. et al. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils in agricultural systems. In: BODDEY, R. M. et al [eds.]. *Carbon stocks and greenhouse gas emissions in Brazilian agriculture*. Brasília: Embrapa, 2014. Chapter 5.

AULAKH, M. S.; BODENBENDER, J.; WASSMANN, R.; RENNENHERG, H. Methane transport capacity of rice plants. I. Influence of methane concentration and growth stage analyzed with an automated measuring system. In: WASSMANN, R.; LANTIN, R. S.; NEUE, H. U. (eds.). *Methane emissions from major rice ecosystems in Asia*. Developments in Plant and Soil Sciences. Dordrecht: Springer, 2000. v. 91.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas de Mudanças Climáticas. Brasília: MCTI, 2016. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3es.pdf>.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2017/18. N. 11, Brasília. agosto 2018. 148 p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2018/19: décimo segundo levantamento. Brasília: CONAB, 2019a. v. 6, n. 12.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2018/19: sétimo levantamento. Brasília: CONAB, 2019b. v. 6, n. 7.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2018/19: décimo levantamento. Brasília: CONAB, 2019c. v. 6, n. 10.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2019/20: sexto levantamento. Brasília: CONAB, 2020. v. 7, n. 6.

EBERHARDT, D. S. et al. Emissão de metano em arroz irrigado em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: Embrapa, 2009. v. 1, p. 163-166. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/578037/emissao-de-metano-em-arroz-irrigado-em-santa-catarina>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Consórcio Milho-Braquiária. Brasília: Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/982597/1/LVCONSORCIOMB.pdf>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Secretaria Geral, Gerência de Comunicação e Informação. Embrapa em números. Brasília: Embrapa, 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Série desafios do agronegócio brasileiro (NT1) parte 1: complexo soja - caracterização e desafios tecnológicos. Brasília: Embrapa, 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Portal da Embrapa. Fixação biológica do nitrogênio em soja. Soluções tecnológicas. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3780/fixacao-biologica-de-nitrogenio-em-soja>.

GASQUES, J. G. Estimativas com base em dados da CONAB. 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-dassafras?start=10>.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, E. E. (eds.). Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and environment. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2005. p. 25-42.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006. v. 4, cap. 5. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_volume4/v4_05_Ch5_Cropland.pdf.

KIM, S. Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, P. J. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation on paddy soil. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 161, p. 130-136, 2012. DOI: 10.1016/j.agee.2012.07.026.

KIM, S. Y.; LEE, C. H.; GUTIERREZ, J.; KIM, P. J. Contribution of winter cover crop amendments on global warming potential in rice paddy soil during cultivation. Plant and Soil, v. 366, p. 273-286, 2013. DOI: 10.1007/s11104-012-1403-4.

LIMA, M. A. et al. Emissão de metano em lavouras de arroz irrigado sob sistema pré-170 germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. Anais [...]. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. v. 1. p. 417-419.

LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; VILLELA, O. V.; COSTA, F. de S.; BAYER, C.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Methane emissions in flooded rice cultivation. In: BODDEY, R. M.; LIMA, M. A.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O.; URQUIAGA, S. (eds.). Carbon stocks and greenhouse gas emissions in Brazilian agriculture. Brasília: Embrapa, 2014. Chap. 6 and 9.

LIMA, M. A.; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B.; GALVÃO, J. A. H.; VILLELA, O. V. Emissão de metano em área de arroz irrigado sob sistema pré-germinado em Pindamonhangaba, SP. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 86). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1115106/emissao-de-metano-em-area-de-arroz-irrigado-sob-sistema-pre-germinado-em-pindamonhangaba-sp>.

MOTA, M. R. et al. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. Rev. Bras. Ciênc. Solo, [online], v. 39, n. 2, p. 512-522, 2015.

OLIVEIRA, Priscila et al. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 239-246, set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300005>.

ZOU, J.; HUANG, Y.; ZHENG, X.; WANG, Y. Quantifying direct N₂O emissions in paddy fields during rice growing season in mainland China: dependence on water regime. Atmospheric Environment, v. 41, p. 8030-8042, 2007. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.06.049.

EMIÇÃO DE CH₄ E N₂O E POTENCIAL DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO INTERMITENTE NA MITIGAÇÃO DESSES GASES EM LAVOURAS DE ARROZ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Estefânia Silva Camargo¹; Cimélio Bayer¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul

O estado do Rio Grande do Sul (RS), no sul do Brasil, concentra 80% da área de produção de arroz irrigado do país (CONAB, 2015), sendo a lavoura arrozeira vista como um potencial emissor de CH₄ em função do seu sistema de cultivo predominantemente inundado. No que se refere à estimativa de fatores de emissão desse gás, o inventário brasileiro de emissões de CH₄ em cultivo de arroz irrigado apresenta um fator de emissão de 300 kg CH₄ ha⁻¹, sendo este baseado em índices internacionais. No entanto, é importante se considerar a representatividade de solo e clima das regiões, para estimativas seguras dessas informações.

Outro aspecto importante que se refere à emissão de gases de efeito estufa em lavouras de arroz irrigado é a identificação e a quantificação do potencial de práticas agrícolas em mitigar essas emissões. Em nível internacional o uso de sistemas intermitentes de irrigação destaca-se como uma das práticas mais eficientes na mitigação das emissões de CH₄ em solos cultivados com arroz irrigado (TOWPRAYOON *et al.*, 2005; TYAGI *et al.*, 2010; ITOH *et al.*, 2011; KIM *et al.*, 2014). Isto devido às alterações promovidas nas propriedades do solo, especialmente às relacionadas com a redução da umidade e o nível de oxigênio do solo, com o aumento do potencial redox e com a diferenciação da atividade microbiana nessas condições. No Brasil, no estado do RS informações relacionadas ao manejo da água de irrigação em relação às emissões de CH₄ e N₂O ainda são escassas, especialmente em distintas condições edafoclimáticas.

O potencial de emissão de CH₄ tem sido reduzido entre 45 e 90% nos sistemas intermitentes de irrigação, em comparação aos sistemas de irrigação contínua (ITOH *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2012; HOU *et al.*, 2012; IRRI, 2015), enquanto que um aumento nas emissões de N₂O tem sido verificado simultaneamente. Entretanto, mesmo considerando os respectivos potenciais de aquecimento desses gases (expressos em CO₂eq), a magnitude na redução das emissões de CH₄ ainda tem sido superior ao aumento nas emissões de N₂O.

Diante desse contexto, neste estudo teve-se como objetivos avaliar o potencial de sistemas de irrigação intermitente

na mitigação das emissões de CH₄ e N₂O em diferentes solos de localidades do RS, considerando suas distintas condições de solo e clima; bem como determinar um fator regional de emissão de CH₄ para sistemas de produção de arroz sob irrigação contínua no RS, considerando essas diferentes condições. Esse estudo foi conduzido durante duas safras (2011/2012 e 2012/2013) em cinco municípios da região produtora de arroz do estado.

Três tratamentos de manejo da água de irrigação foram avaliados em cada local e safra: I. irrigação por inundação contínua (água permanente durante todo período de cultivo); II. intermitente moderado (irrigação por inundação com período de supressão do estágio V6 ao V8); e III. sistema de irrigação intermitente severo (irrigação por inundação com período de supressão do estágio V6 ao V8 e do V8 ao V10). A coleta das amostras de ar foi realizada segundo o método da câmara estática fechada (MOSIER, 1989) durante a safra de arroz no RS.

As concentrações de CH₄ e N₂O nas amostras de ar foram determinadas por cromatografia gasosa, e as emissões foram assumidas como equivalente às emissões médias diárias, sendo as emissões acumuladas calculadas a partir da integração dos fluxos diários de emissão de CH₄ e N₂O do solo (GOMES *et al.*, 2009). O potencial de aquecimento global parcial (PAGp) foi calculado convertendo-se emissões de CH₄ e de N₂O para CO₂ equivalente (kg CO₂eq ha⁻¹) e somando ambos. Também foi calculado o índice PAGp em escala de rendimento, considerando uma razão do PAGp por unidade de grãos de arroz produzida.

RESULTADOS PRELIMINARES

- As emissões de CH₄ foram reduzidas ao serem adotados os sistemas intermitentes de irrigação, em comparação à irrigação contínua da lavoura;
- A secagem do solo favoreceu os processos responsáveis pela produção do N₂O, independente das condições edafoclimáticas, enquanto que, nos períodos com manutenção da lâmina de água

sobre o solo, em todos os tratamentos, locais e safras, os valores de emissão de N_2O mantiveram-se próximos de zero, ou mesmo negativos;

- Foram verificadas diferenças no PAGp nas localidades de acordo com o manejo de irrigação adotado, considerando as duas safras avaliadas;
- O PAGp foi superior em todas as localidades quando utilizado o tratamento de irrigação contínua, em relação aos tratamentos com adoção de períodos com intermitência da irrigação;
- O tratamento intermitente severo teve maior eficiência em mitigar o PAGp, em virtude da sua menor emissão de CH_4 por quilograma de grãos produzidos, em relação ao tratamento de irrigação contínua;
- O PAGp pode ser reduzido em torno de 50% pela adoção de sistemas intermitentes de irrigação, sem decréscimos na produtividade da cultura. Isso porque as produtividades do arroz não foram significativamente diferentes entre os sistemas de irrigação. O PAGp por rendimento de grãos de arroz para os tratamentos de irrigação intermitente reduziu este índice (PAGp/Rend.) em 45%, em relação à irrigação contínua. Tal redução provavelmente se deve à adoção dos sistemas intermitentes de irrigação não terem apresentado redução na produtividade do arroz, ao mesmo tempo que diminuíram as emissões de CH_4 e, consequentemente, o PAGp durante o período de cultivo. Ou seja, a menor emissão de CH_4 por quilograma de grãos produzidos foi alcançada nos sistemas de irrigação intermitente, em comparação à irrigação contínua;
- A emissão sazonal verificada em diferentes localidades do RS demonstrou variações que oscilaram entre 117 a 745 kg CH_4 ha⁻¹, sendo estimado um fator regional médio de emissão de 368 kg CH_4 ha⁻¹ (Tabela), que é 18% maior do que o fator de emissão indicado pelo IPCC (200 kg CH_4 ha⁻¹);
- Isto se torna relevante, uma vez que os inventários nacionais de emissão de GEE para o cultivo de arroz irrigado adotam fatores de emissão baseados em índices internacionais, em razão da falta de dados de pesquisas disponíveis no Brasil. O fator de emissão utilizado para esses agroecossistemas, indicado pelo IPCC, é de 20 g m⁻² (200 kg CH_4 ha⁻¹). Considerando-se a adição média de resíduos orgânicos de 1-2 t ha⁻¹, o fator de emissão alcança 300 kg CH_4 ha⁻¹, devido à aplicação de um fator de escala de 1,5 (EMBRAPA, 2010);
- Considerando os fatores de emissão encontrados, a área de produção de arroz irrigado nos anos de avaliações e, extrapolando-se esse índice para todo

o estado, foi possível atingir um valor de emissão de CH_4 para Rio Grande do Sul oriundo de lavouras de arroz irrigado de 0,35 Tg CH_4 safra⁻¹.

DESAFIOS

- A execução de projetos de pesquisa que idealizem considerar um espaço geográfico extenso, como englobar diferentes localidades, necessita de uma rede de parceiros e de apoio para que possa ser executado eficientemente. Dessa forma, o presente projeto de pesquisa pôde ser desenvolvido a partir do comprometimento e da parceria de órgãos de fomento, instituições de pesquisa, estações experimentais, programas de pós-graduação, pesquisadores e estudantes que estiveram envolvidos permitindo que estes resultados fossem alcançados.

SOLUÇÕES

- A adoção de irrigação intermitente é uma estratégia eficiente para redução do PAGp de sistemas de produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, independente das condições de solo e clima;
- Os sistemas de irrigação intermitente em lavouras de arroz irrigado do sul do Brasil apresentam capacidade de sustentar a produtividade da cultura do arroz e de reduzir o índice PAGp/Rendimento;
- O efeito da intermitência da irrigação em sistemas de produção de arroz irrigado na redução das emissões de CH_4 é superior ao efeito no aumento nas emissões de N_2O ;
- As condições edafoclimáticas distintas provocam diferenças nas emissões de CH_4 em lavouras de arroz irrigado e, consequentemente, nos fatores de emissão.

DADOS PUBLICADOS EM:

CAMARGO, E. S. Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CAMARGO, E. S. et al. Intercontinental comparison of greenhouse gas emissions from irrigated rice fields under feasible water management practices: Brazil and Japan. 2018 Journal Soil Science and Plant Nutrition, v. 64, n. 1, p. 59-67, 2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BAYER, C. et al. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. *Field Crops Research*, v. 162, p. 60-69, 2014.

BUSS, G. L. Emissões de metano e óxido nitroso em cultivo de arroz irrigado por aspersão, alagamento contínuo e intermitente. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2014/15: quinto levantamento. Brasília: CONAB, fev. 2015. v. 2, n. 5, p. 1-116. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de referência. Emissões de metano do cultivo de arroz. [s. l.]: Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente; Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. 50p.

Continuação no Anexo

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dr. Cimélio Bayer

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

e-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

Tabela 1: Fatores regionais de emissão de CH₄ em sistemas de produção de arroz irrigado em diferentes localidades do Rio Grande do Sul

Locais	Ano	Fatores de Emissão (FE) kg CH ₄ ha ⁻¹	Média	Fonte
Uruguiana	2011/2012	486 # #	615	Este estudo
	2012/2013	745 # #		
Cachoeirinha	2002/2003	490 #	486	Bayer et al. (2014)
	2003/2004	590 #		
	2007/2008	262 # #		
	2009/2010	520 # #		
	2011/2012	431 # #		
	2012/2013	623 # #	135	Este estudo
Pelotas	2009/2010	117 #	135	Wesz (2012)
	2010/2011	159 #		Buss (2012)
	2011/2012	128 #		Este estudo
	2012/2013	138 # #		
Restinga Seca	2012/2013	465 # #	465	Este estudo
Camaquã	2012/2013	127 # #	127	Este estudo
Santa Maria	2007/2008	423 #	381	Moterle et al. (2013)
	2009/2010	340 # #		
Média Regional (FE)			368	
IPCC (FE) # # #			300	

Fonte: própria autoria.

Legenda: # Avaliações sob preparo convencional do solo; ## Avaliações sob cultivo mínimo do solo; ### 200 kg ha⁻¹ + 50% para adições de 1-2 t ha⁻¹ de matéria seca (MCT, 2010).

FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO SOB DIFERENTES ROTAÇÕES DE CULTURAS E SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NO SUL DO BRASIL

Cláudia Pozzi Jantalia¹; Henrique Pereira dos Santos²; Segundo Urquiaga¹; Robert Michael Boddey¹; Bruno José Rodrigues Alves¹

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Agrobiologia; ² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Trigo.

As regiões tropicais e subtropicais, que representam 51% da área agrícola no mundo, com uma expectativa de ampliação do uso de fertilizantes nitrogenados para sustentar os aumentos de produção de alimentos, também têm sido apontadas como responsáveis pela maior parte das emissões de gases como óxido nitroso (N_2O). No Brasil, assim como em outros países nessa região, a quantidade de informações sobre os fatores de emissões de N_2O em função das doses e fontes de N, em sistemas agrícolas com rotação de culturas sob preparo convencional e plantio direto, ainda era escasso, indicando a necessidade de estudos nessa área, contemplando os diferentes sistemas de produção agropecuária. O sistema de plantio direto (PD) é um sistema de manejo do solo que pode contribuir para o sequestro de C, mas estudos em outros países registraram maiores emissões de óxido nitroso sob PD comparado ao plantio convencional (PC), que poderia reduzir os benefícios de mitigação de gases de efeito estufa.

O objetivo deste estudo foi estimar o fator de emissão de óxido nitroso, a partir de sistemas de cultivo sob PC e PD, em um experimento de 18 anos, realizado em Latossolo, numa área experimental da Embrapa Trigo, localizada próxima à cidade de Passo Fundo-RS. Os fluxos de N_2O foram medidos ao longo de dois anos usando câmaras estáticas validadas seguindo protocolos do grupo do Agricultural Research Service (ARS-USDA). As avaliações foram concomitantes nos dois sistemas de plantio com três rotações de culturas. Os tratamentos de rotação avaliados foram: I. soja-soja; II. trigo-soja; e III. ervilhaca-milho. Foram monitorados também o espaço poroso saturado por água (% EPSA) no solo e o N mineral do solo, juntamente com a precipitação e a temperatura do ar. As estimativas de emissões de N_2O foram obtidas pela integração dos fluxos com o tempo e também pela aplicação do fator de emissão direta do IPCC ($FE1 = 1\%$) para as quantidades de N adicionadas como fertilizantes e devolvidas como resíduos de colheitas.

RESULTADOS PRELIMINARES

Neste estudo, foram obtidos dados que determinaram os fatores de emissão para as regiões de grãos do sul do País, tanto para fertilizantes como para outras fontes de N, como os adubos verdes. A finalidade foi verificar a adequação dos

fatores propostos pelo IPCC que estão sendo utilizados em inventários no País.

Os fluxos de N_2O foram relativamente baixos, com maiores emissões em um curto período no início das medições de cada cultura (Tabela);

- Nenhuma relação entre os fluxos de N_2O e % EPSA ou N mineral foi observada;
- As emissões de N_2O não foram influenciadas pelo sistema de plantio direto ou pela rotação de culturas;
- Para a rotação de culturas que receberam altas taxas de fertilizante nitrogenado no segundo ano, as emissões de N_2O medidas em campo foram significativamente subestimadas pelo fator de emissão $FE1$ do IPCC;
- Para os outros tratamentos, as emissões de N_2O caíram dentro da faixa de incerteza do $FE1$, mas sempre consideravelmente inferior à estimativa do $FE1$ do IPCC, o que sugere que o fator de emissão do IPCC superestima as verdadeiras emissões de N_2O no solo avaliado.

DESAFIOS

- Desenvolver uma câmara que possibilitasse a coleta adequada e que as amostras, vindas do Rio Grande do Sul fossem enviadas para o laboratório no Rio de Janeiro;
- O desenvolvimento do protocolo de análise cromatográfica de N_2O , que visou tanto estabelecer as colunas e o uso de padrões mais adequados para as determinações em concentrações de N_2O em partes por bilhões (ppb). Houve um esforço em reduzir o tempo de análise de 20 minutos para 3 minutos, visando otimizar o processamento das amostras no laboratório.

SOLUÇÕES

- O sistema plantio direto sob sucessão trigo-soja ou sob rotações de cultura nas condições da Região Sul

brasileira não aumentou o potencial de emissão de óxido nitroso em relação ao preparo convencional do solo, contrariando observações feitas em outros países também em condições de clima temperado. A observação deste estudo também não confirmou as afirmações baseadas em modelos teóricos, de que, a uma temperatura mais elevada, como a das condições brasileiras, poderiam elevar as emissões de óxido nitroso sob plantio direto;

- Buscou-se também avaliar como as variáveis edafoclimáticas, incluindo as propriedades hidráulicas dos solos, sob diferentes manejos, relacionam-se com os processos que originam fluxos de N_2O para a atmosfera em condições subtropicais brasileiras.

DADOS PUBLICADOS EM:

JANTALIA, C. P.; DOS SANTOS, H. P.; URQUYAGA, 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 Brasil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 82, p. 161-173, 2008.

COORDENADORES DO PROJETO

Dr. Segundo Urquiaga

Embrapa Agrobiologia

e-mail: segundo.urquiaga@embrapa.br

Dr. Robert M. Boddey

Embrapa Agrobiologia

e-mail: robert.boddey@embrapa.br

Dr. Bruno J. R. Alves

Embrapa Agrobiologia

e-mail: bruno.alves@embrapa.br

Dra. Claudia P. Jantalia

Embrapa Agrobiologia

e-mail: claudia.jantalia@embrapa.br

Dr. Henrique P. dos Santos

Embrapa Trigo

e-mail: henrique.santos@embrapa.br

Tabela 1: Emissões de N_2O obtido com medições em campo e estimativas a partir de fatores do IPCC (EF1 = emissões diretas do solo) de 1.25%-1%, que é aplicado no total de fertilizante nitrogenado e adicionado pelas culturas. Quantidade de N derivado da fixação biológica de N e quantidade de N nos resíduos culturais após colheita (Nrcc), em três diferentes rotações de cultura (R1, R2A e R2B) sob plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC), por dois anos consecutivos.

Período avaliado Rotações de cultura	Dados de campo (% IPCC total)	IPCC (EF1 = 1.25%; incertezas de 20% até 180% do valor calculado)			
		Fertilizantes	Nrcc	N no resíduo	Total
Inverno		kg N-N ₂ O ha ⁻¹ ano ⁻¹			
2003					
R1 PD (Soja-trigo)	0.67 (16)	0.56	2.63	0.93	4.12
R1 PC	0.94 (24)	0.56	2.50	0.89	3.95
R2A PD (Soja-ervilhaca)	0.76 (12)	0	3.82	2.44	6.26
R2A PC	0.69 (13)	0	3.24	2.14	5.38
R2B PD (Milho-trigo)	0.67 (33)	0.56	0	1.46	2.02
R2B PC	0.98 (56)	0.56	0	1.20	1.76
2004					
R1 PD (Soja-trigo)	0.60 (21)	0.56	1.32	1.02	2.90
R1 PC	0.69 (23)	0.56	1.34	1.09	2.99
R2A PD (Soja-ervilhaca)	0.61 (19)	1.30	0	1.85	3.15
R2A PC	0.72 (23)	1.30	0	1.85	3.15
R2B PD (Milho-trigo)	0.74 (22)	0	2.25	1.18	3.43
R2B PC	0.62 (22)	0	1.85	0.98	2.83

Fonte: própria autoria.

FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO DERIVADO DA FERTILIZAÇÃO DE UREIA PASTILHADA NA PRODUÇÃO DE MILHO CULTIVADO EM SISTEMA DE PREPARO CONVENCIONAL DO SOLO NO ESTADO DE SERGIPE

Cláudia Pozzi Jantalia¹; Wadson de Menezes Santos²; Bruno José Rodrigues Alves¹; Segundo Urquiaga¹; Edson Patto Pacheco³; Inácio de Barros³; Marcelo Ferreira Fernandes³; Eduardo Pires Bender⁴; Josimar Nogueira Batista⁴

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Agrobiologia; 2 Universidade Federal de Sergipe; 3 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Tabuleiros Costeiros; 4 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Na maioria dos solos brasileiros, a disponibilidade natural de nitrogênio é insuficiente para assegurar altas produtividades, tornando-se crucial um fornecimento através da adubação em quantidades adequadas para garantir o crescimento, o desenvolvimento e a produção das plantas de milho. Nas condições de tabuleiro do estado de Sergipe a distribuição errática de chuvas no período de produção de grãos, que acontece de abril a setembro, é um desafio a mais. Isso porque, além das condições edafoclimáticas, o milho é uma cultura altamente exigente em nitrogênio, o que torna esse nutriente, depois do fornecimento de água, o mais limitante à produção quando não suprido de forma adequada. A fonte de nitrogênio mais utilizada na agricultura brasileira é a ureia, seguida do sulfato de amônio. A ureia tem como vantagem a elevada concentração de N ($\pm 45\%$), o que reduz os custos com o transporte e a aplicação. Por outro lado, apresenta grande potencial de perda de N em formas gasosas. Nesse sentido, existe uma carência de estudos de aplicação de ureia como fonte de nitrogênio e seus impactos quanto às perdas ambientais de N na região delimitada nos estados de Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Bahia (BA) (as três siglas combinadas: SEALBA).

O objetivo deste estudo foi estimar o fator de emissão de óxido nitroso (N_2O) a partir da fertilização de ureia pastilhada na dose de 150 kg de N por hectare para produção de milho cultivado em sistema de preparo convencional do solo, numa área experimental da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada próximo à cidade de Nossa Senhora das Dores-SE. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Os fluxos de N_2O foram medidos ao longo de dois anos usando câmaras estáticas validadas seguindo protocolos do grupo do Agricultural Research Service (ARS-USDA). As avaliações foram concomitantes em área com e sem aplicação de ureia pastilhada (44,9%N) na dose de 150 kg de N por hectare. Foram monitorados também o espaço poroso saturado por água (% EPSA) no solo e N mineral do solo juntamente com a precipitação e a temperatura do ar. As estimativas de emissões de N_2O foram obtidas pela integração dos fluxos com o tempo e também aplicando o fator de emissão direta do IPCC ($FEI = 1\%$) para as quantidades de N adicionadas como fertilizantes.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Nenhuma relação entre os fluxos de N_2O e % WFPS ou N mineral foi observada;
- Os fatores de emissão (FE) para N_2O mudaram de acordo com a precipitação acumulada no ano agrícola e permanecem acima dos índices do IPCC em 2015, enquanto que, em 2016, os índices ficaram abaixo para o N_2O ($< 1\%$) (Tabela).

DESAFIOS

- Disponibilidade de recursos financeiros para a continuidade e a ampliação das avaliações em maior quantidade de locais e pontos de amostragens;
- Disponibilidade de recursos humanos treinados para a coleta de campo.

SOLUÇÕES

- O aprimoramento de novas tecnologias de fontes de nitrogênio que tenham a ureia como base se faz necessário para a melhoria da eficiência do uso de N e para a redução nas perdas por via gasosa, principalmente em áreas de clima quente e com potencial para produção de grãos, como a região delimitada nos estados de Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Bahia (BA) (SEALBA). Esse será um fator que pode contribuir para o conhecimento e a tomada de decisão, favorecendo o desenvolvimento da economia dessa nova fronteira agrícola brasileira.

DADOS PUBLICADOS EM:

SANTOS, W. M. Desempenho agrônomo e volatilização da amônia de fertilizantes pastilhados e convencionais na cultura de milho. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dr. Edson Patto Pacheco

Embrapa Tabuleiros Costeiros
e-mail: edson.patto@embrapa.br

Dra. Claudia P. Jantalia

Embrapa Agrobiologia
e-mail: claudia.jantalia@embrapa.br

Tabela 1: Emissões acumuladas de N₂O e fatores de emissão de ureia pastilhada (UP) aplicada na dose de 150 kg ha⁻¹ de N como cobertura e em área controle sem aplicação de N na cultura do milho

Ano	2015			2016		
Tratamento	N ₂ O-N perdas (g N ₂ O-N ha ⁻¹)		EF (%)	N ₂ O-N perdas (g N ₂ O-N ha ⁻¹)		EF (%)
	N ₂ O-N acumulado	N ₂ O-N fertilizante		N ₂ O-N acumulado	N ₂ O-N fertilizante	
UP	2433 a	2293	1.53	861 a	701	0.47
Controle	140 b	-	-	160 b	-	-

Fonte: própria autoria.

AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE METANO PROVENIENTE DO CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO

Magda Aparecida de Lima¹; Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto¹; Alfredo José Barreto Luiz¹; Omar Vieira Villela²; Cimélio Bayer³; Elio Marcolin³; Vera Regina Mussoi Macedo³; Domingos Eberhardt⁴; José Alberto Noldin⁴

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Ambiente; 2 Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios; 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 4 Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.

O cultivo de arroz irrigado por inundação produz metano (CH_4), um importante gás de efeito estufa que influencia fortemente a fotoquímica da atmosfera. O CH_4 possui um potencial de aquecimento global 28 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO_2), para um horizonte de tempo de 100 anos (MYHRE et al., 2013). Estimam-se em 8,3 Tg CH_4 , em 2014, as emissões de metano provenientes do cultivo de arroz irrigado por inundação no Brasil (BRASIL, 2016).

Do total de área plantada com lavouras no país, o cultivo de arroz representa 2,38%. A área total de arroz plantada no país foi estimada em 1,88 milhões de hectares em 2018 (IBGE, 2019), com uma produtividade média nacional de 6,28 toneladas/ha, sendo o Rio Grande do Sul o principal estado produtor, responsável por 71,6% da produção total em 2018, seguido pelo estado de Santa Catarina.

Grande parte do arroz irrigado por inundação utiliza manejo de água contínuo. A realização de estudos de mensuração local de CH_4 em cultivo de arroz irrigado em diferentes regiões climáticas e solos distintos mostra-se fundamental ao aprimoramento de estimativas nacionais e globais de emissão de gases de efeito estufa, bem como ao desenvolvimento de fatores de emissão e à avaliação de modelos de simulação baseados em processos biogeoquímicos.

O objetivo geral do projeto foi estimar as taxas de emissão de metano em campos de arroz irrigado, sob diferentes condições de solo, de manejo de água e de clima, bem como avaliar a influência de variáveis ambientais e de sistemas de produção de lavoura de arroz irrigado no sul e sudeste do país.

O método utilizado para a mensuração da emissão de metano foi o da câmara estática (IAEA, 1992), que consiste no uso de câmaras de alumínio, com dispositivo indicador de temperatura e ventiladores internos. Coletas de metano foram realizadas de uma a duas vezes por semana, utilizando seringas de 60 ml e a seguir analisadas em cromatografia gasosa, provido de detector de ionização de chama (FID). As áreas estudadas estão localizadas: I. na Estação Experimental da Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios – APTA Polo Regional do Vale do Paraíba, em Pindamonhangaba-SP; II. no Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), no município de Cachoeirinha-RS (safras

2003/2004 e 2004/2005); e III. na Estação Experimental da Epagri, em Itajaí-SC (safras 2006/2007 e 2007/2008), todos com estações meteorológicas.

Um experimento foi também realizado em uma fazenda no município de Tremembé-SP, na safra de 2008/2009. Os dados de temperatura do ar, da água e do solo, de pH e Eh do solo foram tomados no mesmo dia de coleta de metano, além da altura de planta e da lâmina de água. Os fluxos sazonais de metano foram calculados em planilhas de cálculos Excel, tendo como entrada os dados de temperatura média do interior da caixa, a altura da câmara e as concentrações de metano, em ppm. A partir da emissão acumulada, calcularam-se os fatores de emissão para cada estação de crescimento, sendo estes expressos em $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Os resultados de fatores de emissão de CH_4 apresentados na Tabela referem-se apenas aos experimentos conduzidos no Vale do Paraíba-SP e em Itajaí-SC. Dados de fatores de emissão de CH_4 foram gerados para: I. sistemas de irrigação contínua e intermitente em sistema de transplântio, nas safras de 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005, em Pindamonhangaba-SP; II. sistema de irrigação contínua em sistema de transplântio na safra de 2005/2006, em Pindamonhangaba-SP; e III. sistema de irrigação contínua em sistema pré-germinado na safra de 2006/2007 e 2007/2008, em Itajaí-SC.

Outros experimentos foram realizados entre os anos de 2010 e 2017 e estão em fase de publicação, entre eles um estudo sobre a mensuração da emissão de metano em sistema pré-germinado na safra de 2008/2009 na Fazenda Regina, em Tremembé-SP, e outro em sistema pré-germinado na safra de 2010/2011, em Pindamonhangaba-SP. Os dados constam em trabalho submetido e aprovado pela revista Ciência Rural, a ser publicado em 2019 ou 2020.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Foram obtidos fluxos sazonais de metano, em $\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2}$ por estação de crescimento, a partir dos quais foram calculados os fatores de emissão (Tabela), expressos em $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, para cultivo de arroz

irrigado por inundação, sob sistema de irrigação contínua e intermitente, em Pindamonhangaba-SP, e sob sistema pré-germinado em Itajai-SC, em Pindamonhangaba-SP e em Tremembé-SP.

DESAFIOS

- Destaca-se a necessidade de monitorar fluxos sazonais de metano em áreas de arroz irrigado por um período mais longo, avaliando-se várias estações de crescimento, sistemas de preparo do solo, diferentes possibilidades de manejo de água, variedades de arroz, considerando as diferentes respostas dos sistemas de cultivo às condições climáticas;
- Experimentos contabilizando os fluxos de N_2O têm sido realizados pela equipe nos últimos anos, permitindo uma avaliação mais completa do balanço de emissão de gases de efeito estufa em sistemas de produção de arroz irrigado, e consequentemente, aprimorando o cálculo do potencial de aquecimento global (PAG) para cada sistema.

SOLUÇÕES

- Quanto ao manejo de água em sistema de transplântio: o sistema de irrigação intermitente não apresentou diferença, em média, nas emissões de CH_4 , em relação à irrigação contínua nas safras estudadas, embora o padrão diferenciado de emissão entre os dois tratamentos, ao longo das estações de crescimento, permita indicar possíveis estratégias de mitigação;
- Quanto ao sistema pré-germinado: recomenda-se evitar a inundação prolongada na produção de arroz irrigado, bem como usar variedades com menor potencial de emissão de CH_4 . A semeadura em solo seco, com uma redução do período de inundação, pode ser indicada como uma medida de mitigação.

DADOS PUBLICADOS EM:

LIMA, M. A. et al. Emissão de metano em lavouras de arroz irrigado sob sistema pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. Anais [...]. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. v. 1, p. 417-419, 2007.

LIMA, M. A. de; FRIGHETTO, R. T. S.; VILLELA, O. V.; COSTA, F. de S.; BAYER, C.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Methane emissions in flooded rice cultivation. In: BODDEY, R. M. et al. (ed.). Carbon stocks and greenhouse gas emissions in Brazilian agriculture. Brasília: Embrapa, 2014. Chapter 6.

LIMA, M. A. de; VIEIRA, R. F.; FRIGHETTO, R. T. S.; LUIZ, A. J. B.; VILLELA, O. V. Methane emission from a flooded rice field under pre-germinated system. Ciência Rural, 2019. No prelo.

LIMA, M. A. de; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B.; GALVÃO, J. A. H.; VILLELA, O. V. Emissão de metano em área de arroz irrigado sob sistema pré-germinado em Pindamonhangaba, SP. 2019. No prelo. (Artigo submetido à série Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BRAZIL. Ministry of Science, Technology and Innovation. Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Brasília: MCTI, 2016. 42p. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3es.pdf>.

IAEA – International Atomic Energy Agency. Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture. Vienna: IAEA, 1992. Chapter 3.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA. Tabela 1618: Área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto das lavouras. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Consultado em 27/março/2019.

MYHRE, G. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F. et al. (eds.). Climate Change 2013. The physical science basis [...]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

COORDENADOR DO PROJETO

Dra. Magda Aparecida de Lima

Embrapa Meio Ambiente

e-mail: magda.lima@embrapa.br

BALANÇO DE CARBONO E DINÂMICA DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS SOJA/MILHO, SOJA/SORGO, SOJA/MILHETO NO BIOMA CERRADO

Alexsandra Duarte de Oliveira¹; Arminda Moreira de Carvalho¹; Artur Gustavo Muller¹; Marco Aurélio Carolino de Sá¹; João de Deus dos Santos Júnior¹; Juaci Vitória Malaquias¹; Eloisa Aparecida Belleza Ferreira²; Giovana Alcantara Maciel¹; Cícero Célio de Figueiredo³; Isis Lima dos Santos⁴

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrados; 2 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Recursos Genéticos; 3 Universidade de Brasília; 4 Secretaria Municipal de Agricultura, Tecnologia, Indústria e Comércio, do Município de Barreiras, Bahia.

Estudo 1. Em seu estado natural, o bioma Cerrado é mitigador das emissões de óxido nitroso (N_2O). Entretanto, as integrações desse bioma com as atividades agrícolas induzem mudanças à dinâmica do nitrogênio (N), consequentemente incrementando as emissões de N_2O para atmosfera. Assim, por um ano, foram medidos os fluxos de N_2O e seus efeitos interativos com a sazonalidade pluviométrica e a rotação cultural em experimento de longa duração (19 anos). Os sistemas agrícolas foram (Figura): I. plantio direto com rotação soja-sorgo (PDR1); II. plantio direto com rotação milho-guandu (PDR2); e III. plantio convencional com soja sem safrinha (PC) e como referência a vegetação nativa do Cerrado (CE). As médias de fluxos variaram de zero a $266 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Os acumulados para o período anual para PC, PDR1 e PDR2 foram: 1,36; 1,00; e $0,70 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$, respectivamente. Para o CE, o acumulado anual foi de $0,27 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$.

Estudo 2. Avaliou-se a relação entre a matéria orgânica e as emissões de N_2O sob diferentes sistemas de manejo. Foram estudados: I. pools de C e N e as frações lábeis e estáveis da matéria orgânica; II. emissões acumuladas; e III. a relação entre frações da matéria orgânica e das emissões de N_2O . Os sistemas agrícolas foram: I. plantio direto com rotação soja-sorgo (PDR1); II. plantio direto com rotação milho-guandu (PDR2); e III. plantio convencional com soja sem safrinha (PC) e como referência a vegetação nativa do Cerrado (CE). Após 18 anos, o estoque de carbono no PC, na camada de 0-20 cm, reduziu $0,64 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os sistemas com plantio direto foram mais eficientes em acumular carbono nas frações lábeis e estáveis e se relacionaram diretamente com baixas emissões de N_2O no solo. O padrão cumulativo do N_2O foi inverso ao das seguintes frações de matéria orgânica: carbono da biomassa microbiana; carbono oxidável em permanganato; carbono orgânico particulado; carbono inerte; e substâncias húmicas. Baseado em análise de componentes principais, o PC esteve separado dos demais sistemas. Essa separação pode ser influenciada pelo baixo conteúdo de C nas diferentes frações da matéria orgânica e pelas altas emissões de N_2O pelo PC.

RESULTADOS PRELIMINARES

Não foi objetivo do trabalho a obtenção de fatores de emissão; no entanto, esta pesquisa gerou os seguintes resultados apresentados a seguir:

- Os resultados indicam que o Cerrado (vegetação nativa), em condições naturais, é conservativo, no que se refere ao ciclo de N (a biomassa apresenta relação C:N alta e, consequentemente, decompõe lentamente, sendo a forma predominante de N mineral o amônio). As emissões de N_2O tendem a aumentar nos ciclos de umedecimento e reumedecimento (efeito Birch), que acontecem ao longo da estação de crescimento;
- Nos agroecossistemas estudados, a emissão acumulada de N_2O foi influenciada pela sazonalidade pluviométrica (época seca e chuvosa), pelo sistema de manejo, pela rotação de culturas, assim como pela interação de fatores edafoclimáticos;
- Os sistemas de plantio direto com rotação de culturas, quando comparados com sistema de plantio convencional de soja e sem rotação, contribuem para a mitigação das emissões de N_2O . A definição de um sistema de plantio direto com potencial mitigador depende das espécies utilizadas na rotação. Nesse caso, a rotação milho-guandu foi mais eficiente, com menores picos de emissão, em comparação à soja-sorgo;
- Os resultados em experimentos de longa duração indicam que existem resultados de curto e longo prazo atuando em sinergia nas emissões de N_2O . Nessa perspectiva, a matéria orgânica do solo é um fator-chave que ajuda a elucidar os efeitos de diferentes sistemas cultivados a longo prazo;
- Em comparação com o Cerrado, os teores de C foram menores no plantio convencional, indicados pelas frações lábeis da matéria orgânica e pelo teor de C dos macro e microagregados. A diminuição do C no sistema de plantio direto esteve correlacionada com as emissões de N_2O ;

- Os agroecossistemas alteraram os estoques de C e N e o acúmulo de C em diferentes frações da matéria orgânica do solo (MOS). Em relação ao Cerrado nativo, as maiores reduções dos teores de C foram promovidas pelo sistema convencional de uso do solo, verificadas principalmente nas frações mais lábeis da MOS e nos agregados do solo. Além disso, o uso do solo sob sistema convencional no Cerrado também promoveu maior emissão de N_2O do solo. Os sistemas sob plantio direto apresentaram valores de acúmulo de C e de emissão de N_2O mais próximos da área nativa, representando uma importante estratégia para o manejo do solo em regiões tropicais. Os resultados deste estudo indicam que os sistemas de manejo do solo que incrementam C de forma equilibrada entre frações lábeis e estáveis, além de mecanismos de proteção desse C em agregados, apresentam baixa emissão de N_2O do solo.
- A intensidade de emissão por produto no plantio convencional sem rotação foi 1,5 e 6,4 vezes maior, quando comparada ao plantio direto de soja-sorgo e de milho-guandu (com rotação), respectivamente. Esses resultados reforçam a importância da adoção do plantio direto com rotação para produção de grãos, da melhoria do sistema e do uso intensivo do solo no Cerrado;
- Novas perspectivas: I. quantificar perdas importantes, como a volatilização de amônia, que, embora não seja um gás de efeito estufa, representa perda significativa de N no sistema; II. aprimorar técnicas de manejo que usem de forma mais intensiva o solo, porém com princípios de boas práticas e sustentabilidade; e III. incentivar a continuidade de medições dos gases de efeito estufa em sistemas representativos associados às ações de adaptação e de vulnerabilidade climática.

DESAFIOS

- A partir da presente pesquisa, pôde-se constatar que, ao se definir o escopo de projeto, algumas demandas de informação, como indicadores químicos e biológicos, surgiram para complementar a pesquisa, mas não foi possível inseri-las. Outra informação importante é a natureza do dado; nas condições tropicais, foram observadas grandes variações em alguns estudos, e nem sempre existe a possibilidade de separação de fatores a serem avaliados. Em relação ao fator de emissão, boa parte dos experimentos de longa duração não permitiu obtê-lo, uma vez que tais estudos não foram delineados para essa finalidade.

SOLUÇÕES

- A partir da presente pesquisa, identificou-se que o Cerrado, na sua forma natural, é conservativo em termos de nitrogênio, e praticamente não o emite;
- Qualquer sistema agrícola emite óxido nitroso, porém o plantio direto com rotação é melhor do que o plantio convencional sem rotação. O período de pousio no sistema convencional pode responder por até 75% das emissões;

DADOS PUBLICADOS EM:

FIGUEIREDO, C. C. de; OLIVEIRA, A. D. de; SANTOS, I. L. dos; FERREIRA, E. A. B.; MALAQUIAS, J. V.; SÁ, M. A. C. de; CARVALHO, A. M.; SANTOS, J. D. G. de. Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. *Science of the Total Environment*, v. 618, p. 1572-1582, 2018.

SANTOS, I. L.; OLIVEIRA, A. D. de; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; FERREIRA, E. A. B.; SA, M. A. C.; CARVALHO, A. M. de. Soil N_2O emissions from long-term agroecosystems: interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 233, p. 111-120, 2016.

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Alexandra Duarte de Oliveira

Embrapa Cerrados

e-mail: alexsandra.duarte@embrapa.br

BALANÇO DE CARBONO E DINÂMICA DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS MILHO/PLANTAS DE COBERTURA NO BIOMA CERRADO

Arminda Moreira de Carvalho¹; Alexsandra Duarte de Oliveira¹; Cícero Célio de Figueiredo³; Djalma Martinhão Gomes de Sousa¹; Karina Pulrolnik¹; Maria Lucrécia Gerosa Ramos³; Robélío Leandro Marchão¹; Márcia Veras de Souza²; Vivian Galdino da Silva³; Luana Ramos Passos Ribeiro⁴

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrados; 2 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Recursos Genéticos; 3 Universidade de Brasília; 4 Banco Cooperativo do Brasil.

O N_2O é o gás de efeito estufa (GEE) que possui maior importância para o setor agropecuário, uma vez que 70% das suas emissões originam-se da dinâmica do nitrogênio (N), incluindo o N proveniente da mineralização da matéria orgânica e fixado biologicamente (FBN). A concentração de N, assim como a composição química dos resíduos vegetais, são fatores determinantes para a mineralização ou a imobilização desse nutriente no solo. A utilização de plantas de cobertura, em associação com culturas anuais, é uma estratégia a ser considerada pelo aumento dos teores de N no solo, como também na substituição parcial do N-fertilizante na cultura do milho, devido à FBN. Esse processo resulta na liberação mais gradativa do N e na redução das emissões de N_2O dependendo da produção e da composição química da biomassa dessas plantas (CARVALHO *et al.*, 2016).

O objetivo desse estudo foi avaliar efeitos de plantas de cobertura e do fertilizante nitrogenado nos fluxos de óxido nitroso (N_2O) do solo com cultivo de milho, em sistema plantio direto no Cerrado. O experimento foi conduzido na estação experimental da Embrapa Cerrados (Planaltina-DF), no período entre 01/11/2013 e 01/03/2016, em Latossolo Vermelho. Os tratamentos foram distribuídos em parcelas representadas pelas seguintes plantas de cobertura (Figura) semeadas em sucessão ao milho: braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*); feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*); milheto (*Pennisetum glaucum*); guandu 'BRS Mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]; crotalária-juncea (*Crotalaria juncea* L.); mucuna-preta (*Mucuna atterima* Merr.); e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.). A vegetação nativa do Cerrado foi o tratamento referência. Para todas as plantas de cobertura avaliadas, a adição de N em cobertura na cultura do milho resultou em maiores emissões acumuladas de $N-N_2O$ ($p < 0,005$), nos dois ciclos da cultura. Nos tratamentos sem a adição de N em cobertura, não houve diferenças significativas entre as plantas de cobertura em relação às emissões acumuladas de $N-N_2O$, também nos dois ciclos do milho. Porém, no primeiro ciclo avaliado, com a aplicação de N em cobertura, o solo cultivado com milho em sucessão a braquiária ruziziensis ($1,20 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$) e feijão-bravo-do-ceará ($0,86 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$) resultou em maiores emissões acumuladas de $N-N_2O$, cerca de 42,5 e 19,8%, respectivamente, quando comparadas com o milheto ($0,69 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$) (VERAS *et al.*, 2016). No segundo período, durante os 199 dias de avaliação depois da colheita

do milho, o solo cultivado com o feijão-bravo-do-ceará e a braquiária ruziziensis apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com ($1,16 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ e $1,00 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$, respectivamente) e sem ($0,63 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ e $0,24 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$, respectivamente). Já o milheto apresentou as menores emissões, com $0,36 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ quando avaliadas sobre o solo que teve milho cultivado com cobertura de N e $0,60 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ no solo onde o milho foi cultivado sem adubação nitrogenada em cobertura não expressando diferenças entre as emissões com e sem N aplicado em cobertura ($p < 0,05$). No segundo ciclo de avaliação do milho em sucessão às demais plantas de cobertura, com tratamento de aplicação de nitrogênio em cobertura, tanto a mucuna-preta ($118,49 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) quanto o nabo-forrageiro ($108 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) resultaram em fluxos diários mais elevados de N_2O na primeira adubação em cobertura no milho. Após a segunda adubação de cobertura, foram observados os maiores fluxos de N_2O , em sucessão ao nabo-forrageiro ($174,12 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) e à crotalária-juncea ($153,30 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). No decorrer do período avaliado, houve uma aceleração no processo de mineralização dos resíduos vegetais de guandu, que, juntamente com a mucuna-preta e o nabo-forrageiro, possui os maiores teores de N na parte aérea; consequentemente, os maiores valores de emissão de N_2O acumulado ($p < 0,005$) foram observados durante o cultivo do milho: 0,98; 0,86; e 0,82 $\text{Kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$, respectivamente. No Cerrado, observou-se um valor de N_2O acumulado próximo de zero ($0,078 \text{ Kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$). Em função da fertilização nitrogenada, o sistema que utilizou milheto seguido de milho foi o que apresentou menor emissão acumulada de $N-N_2O$.

RESULTADOS PRELIMINARES

- O Cerrado apresenta os menores fluxos de $N-N_2O$, próximos de zero, estando esses valores correlacionados com os menores teores de nitrato e com as baixas temperaturas do solo;
- O solo cultivado com milheto (*Pennisetum glaucum*) mostra os menores picos e o menor valor de emissão acumulada de $N-N_2O$;

- Os solos cultivados com feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*) e braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) apresentaram os maiores fluxos acumulados de óxido nitroso e os maiores picos durante o período do experimento;
- Em geral, os resultados indicam uma relação entre a produção e a composição química da biomassa de plantas de cobertura, além do N aplicado via fertilizante, e os fluxos de N_2O no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura, em sistema plantio direto no Cerrado.

DESAFIOS

- A partir da presente pesquisa, pôde-se constatar que, no decorrer da implementação desse projeto, foram introduzidas novas variáveis inovadoras e de importância para serem correlacionadas com as emissões de N_2O e o acúmulo de carbono (C) no solo. Esse incremento só foi possível devido à participação das parcerias externas como da Pós-Graduação da UnB e dos recursos aprovados em fontes externas como a FAPDF e o CNPq. Em relação ao fator de emissão, boa parte dos experimentos de longa duração não permitem que se obtenha o fator de emissão, já que não foram delineados para essa finalidade. Porém, esse experimento de milho em sucessão às plantas de cobertura, que é o experimento piloto do presente plano de ação, foi redesenhado com aplicação de N e não aplicação de N em cobertura na cultura do milho, permitindo o cálculo do fator de emissão. Esses cálculos estão em processamento.

SOLUÇÕES

- A partir da presente pesquisa, identificou-se que o Cerrado apresenta os menores fluxos de $N-N_2O$, que são próximos de zero, devido às condições desfavoráveis à nitrificação, como baixo pH, o que favorece predomínio de nitrogênio na forma amoniacal e, consequentemente, não favorece a produção de N_2O no solo e suas emissões para atmosfera;
- Além do N aplicado via fertilizante, a produção e a composição química da biomassa de plantas de cobertura influenciam significativamente os fluxos de óxido nitroso do solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura, em sistema plantio direto no Cerrado;
- Novas perspectivas: I. quantificação de outras perdas importantes, como a volatilização de amônia, que, embora não seja um gás de efeito estufa,

representa perdas relevantes de N no sistema, além de também impactar negativamente a atmosfera, como deposição atmosférica, chuvas ácidas e efeito estufa indireto; II. estimativa de estoques de carbono no solo e conversão para CO_2eq visando determinar sistemas de produção agrícola mitigadores de GEE e agricultura de baixa emissão de carbono, que devem contribuir para as políticas públicas sobre mudanças climáticas em nível nacional e global, como o Programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) e o relatório do IPCC; III. o Brasil é signatário de medidas de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) e das mudanças climáticas globais, com grandes expectativas da pesquisa, dos agricultores e da sociedade, com relação ao seu papel no manejo sustentável dos solos e, consequentemente, na mitigação de GEE. Nesse contexto, os resultados destas pesquisas, conduzidas em diferentes escalas (campos experimentais, sistemas de produção agrícola em escala de fazenda, áreas de vegetação nativa), têm contribuído com informações relevantes e consistentes para setores que demandam dados para os relatórios sobre mudanças climáticas e de índices de emissão de N_2O impactado diretamente pelo setor agrícola, como o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e o IPCC, respectivamente; e; IV. uma das principais perspectivas da execução do projeto, na forma de novos arranjos/sistemas de produção ou de novas tecnologias geradoras de menores emissões de GEE, está na indicação de sistemas de produção agrícola com maior capacidade adaptativa/resiliência e baixa emissão de GEE.

DADOS PUBLICADOS EM:

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; COSER, T. R.; MARCHÃO, R. L.; MALAQUIAS, J. V. Nitrogen oxides and CO_2 from an Oxisol cultivated with corn in succession to cover crops. Pesquisa Agropecuária Brasileira, [Online], v. 51, p. 1213-1222, 2016.

COSER, T. R.; GEROSA, M. L.; FIGUEIREDO, C. C.; CABALLERO, S. S. U.; CARVALHO, A. M. de; MENDONÇA, M. T. Nitrogen uptake efficiency of maize in monoculture and intercropped with *Brachiaria humidicola* and *Panicum maximum* in a dystrophic Red-Yellow Latosol of the Brazilian Cerrado. Crop & Pasture Science, v. 67, p. 47, 2016.

COSER, T. R.; GEROSA, M. L.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de; CAVALCANTE, E. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. Pesquisa Agropecuária Brasileira, [Online], v. 51, p. 1660-1667, 2016.

VERAS, M. S.; GEROSA, M. L.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de; SOUZA, K. W.; PULROLNIK, K. Cover crops and nitrogen fertilization effects on nitrogen soil fractions under corn cultivation in a no-tillage system. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [Online], v. 40, p. 15-59, 2016.

Continuação no Anexo

COORDENADOR DO PROJETO

Dra. Armanda Moreira de Carvalho

Embrapa Cerrados

e-mail: armanda.carvalho@embrapa.br

FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS DO SOLO NO BRASIL

Beata Eموke Madari¹; Katharina H. E. Meurer²; Uwe Franko²; Claus F. Strange³; Jaqueline Dalla Rosa⁴; Hermann F. Jungkunst⁵

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Arroz e Feijão; ² Centre for Environmental Research – UFZ, Halle (Saale), Germany; ³ Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Hannover, Germany; ⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Agrobiologia;

⁵ University of Koblenz-Landau, Landau, Germany.

As mudanças no uso da terra, como a conversão da vegetação natural em pastagens e áreas de cultivo, estão sempre associadas a mudanças no ciclo de nutrientes e resultam em alterações nos fluxos de gases de efeito estufa do solo para a atmosfera. Neste estudo, analisam-se os valores da literatura científica para extrair padrões de emissões diretas de óxido nitroso (N₂O) de solos de diferentes ecossistemas no Brasil. Os fluxos de ecossistemas naturais exibiram uma ampla gama: enquanto as taxas médias anuais de fluxo foram mais altas nas florestas tropicais da Amazônia e da Mata Atlântica (respectivamente, 2,42 e 0,88 kg N ha⁻¹), as emissões dos solos do Cerrado foram perto de zero. As emissões de pastagens diminuíram com o aumento do tempo após a conversão, e isso foi associado à degradação das pastagens. Foram reportados valores relativamente baixos de fluxos de N₂O-N (-0,07 a 4,26 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, mediana 0,80 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) e baixas respostas à fertilização foram reportados de áreas de cultivo. Ao contrário das premissas, os parâmetros do solo, como pH, carbono orgânico e teor de argila, foram pobres preditores de fluxos de N₂O. Isso pode ser resultado da formação de microagregados, que fortemente afetam as propriedades hidráulicas do solo e, consequentemente, definem o potencial de nitrificação e desnitrificação. Como os dados de áreas de cultivo derivaram principalmente de áreas que estavam originalmente sob Cerrado natural, isso poderia explicar as baixas emissões na agricultura. Futuras medições e mais frequentes, numa maneira mais representativa de todas as regiões relevantes para a agropecuária, devem ser feitas a fim de permitir estimativas nacionais mais sólidas.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Os tipos de uso da terra diferiram nos fluxos diretos de N₂O do solo, mas as emissões eram geralmente baixas;
- Os parâmetros do solo, como pH, carbono orgânico e teor de argila, não se provaram adequados como indicadores para fluxos de N₂O;

- Os fluxos anuais de N₂O-N de solos das culturas no Brasil variaram de -0,07 a 4,26 kg N ha⁻¹, com mediana de 0,80 kg N ha⁻¹. Esse valor é muito menor que as emissões relatadas por Roelandt et al. (2005) de áreas cultivadas no Canadá (2,27 kg N₂O-N ha⁻¹ ano⁻¹), na Europa (2,47 kg N₂O-N ha⁻¹ ano⁻¹) e nos Estados Unidos (3,35 kg N₂O-N ha⁻¹ ano⁻¹).

DESAFIOS

- Existem lacunas de informação para certos biomas. Não foram encontradas emissões de N₂O relatadas nos biomas Caatinga e Pantanal;
- Exceto por um local, os dados de áreas de cultivo foram derivados de áreas que foram estabelecidas na região do Cerrado, que apresentaram emissões extremamente baixas sob vegetação natural. A falta de informação de emissões de cultivos fora do Cerrado é provavelmente devido à importância desse bioma para a agricultura do país. Entretanto, a falta de dados de outros biomas dificulta a explicação das baixas emissões dos solos cultivados, mesmo após a aplicação de fertilizantes, e aponta para a necessidade de avaliações adicionais de outros biomas. Assim, a presente coletânea pode ser uma importante contribuição, pois terá, possivelmente, informação sobre emissão de N₂O em agricultura em outros biomas;
- Como as emissões de N₂O acontecem em picos causados por eventos como precipitação ou aplicação de N, são necessárias medições com maior resolução temporal para captar todas as emissões importantes e explicar seus mecanismos. A maioria dos projetos antes das redes Fluxus, Pecos e Saltus não seguiu um protocolo adequado para tanto devido a questões logísticas. As medições automatizadas permitem a aquisição contínua de dados (MADARI et al., 2018), mas o estabelecimento de tais estudos requer um relativamente alto investimento e é restrito a locais com fonte de alimentação de energia e, para certas abordagens, com topografia

plana. Talvez, no futuro, com o desenvolvimento e o melhoramento de sensores a campo para N_2O , tal feito seja mais viável. Portanto, para obter uma distribuição espacialmente adequada e representativa de medidas em um país de tamanho continental como o Brasil, ainda precisamos confiar em medições manuais que também levem em consideração mudanças ambientais (ciclos de seca/umidade) e mudanças induzidas por seres humanos (conversão de terras). As medições quinzenais ao longo do ano, como foram feitas pela maioria dos autores, não são mais adequadas para aumentar nossa compreensão dos processos biogeoquímicos;

- Além disso, falta o conhecimento exato de como as emissões de N_2O -N mudam durante a conversão da terra, o qual seria muito necessário, pois esse período de tempo provavelmente pode ser responsável por grandes pulsos de emissão que precisam ser contabilizados. Assim, a melhoria da compreensão existente dos processos subjacentes, especialmente durante a conversão da terra, só pode ser garantida por monitoramento consistente e medições frequentes. Os dados de monitoramento podem fornecer a base para um refinamento adicional de modelos e permitir extrapolações espaciais e temporais.

SOLUÇÕES

- O objetivo é desenvolver soluções regionais para melhorar os inventários nacionais, preferencialmente gerando dados Tier 2 e 3. Atualmente, entretanto, a maioria dos modelos que funcionam via simulação de processos biofísicos foi desenvolvida para condições de clima temperado e solos não tropicais, sendo a aplicação em condições tropicais um desafio. As diferentes condições hidráulicas causadas pelos microagregados em solos caulíníticos, tipicamente presentes em regiões tropicais, precisam ser consideradas, uma vez que a descrição adequada da umidade do solo é um pré-requisito para a modelagem dos fluxos de N_2O -N de solos. A adaptação ou o desenvolvimento de modelos para condições de clima tropical é essencial.

DADOS PUBLICADOS EM:

MEURER, K. H. E.; FRANKO, U.; STANGE, C. F.; DALLA ROSA, J.; MADARI, B. E.; JUNGKUNST, H. F. Direct nitrous oxide (N_2O) fluxes from soils under different land use in Brazil – a critical review. *Environ. Res. Lett.*, v. 11, 2016. DOI: 10.1088/1748-9326/11/2/023001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CORRÊA, R. S.; MADARI, B. E.; MAGGIOTTO, S. R.; MEDEIROS, J. C.; CARVALHO, M. T. M.; OLIVEIRA, J. M.; MACHADO, P. L. O. A.; LIMA, M. L.; SILVA, M. A. S.; CARVALHO, M. C. S. Quantificação de fluxos de óxido nítrico (N_2O) em pastagem por meio de câmaras estáticas manuais e de um método micrometeorológico. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 53.).

ROELANDT, C.; VAN WESEMAEL, B.; ROUNSEVELL, M. Estimating annual N_2O emissions from agricultural soils in temperate climates. *Global Change Biol.*, v. 11, p. 1701-1711, 2005.

COORDENADOR DO PROJETO

Dra. Beata Eموke Madari

Embrapa Arroz e Feijão

e-mail: beata.madari@embrapa.br

IMPACTO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A EMISSÃO DE GÁS DE EFEITO ESTUFA ÓXIDO NITROSO E A PRODUTIVIDADE DE ARROZ (*ORYZA SATIVA L.*) IRRIGADO NO CERRADO

Beata Eموke Madari¹; Márcia Thaís de Melo Carvalho¹; Mellissa Ananias Soler da Silva¹; Alberto Baêta dos Santos¹; Wesley Gabriel de Oliveira Leal¹; Diego Mendes de Souza¹; Iuã Matsushige¹; Roberto Carlos Gomes dos Santos¹; Glaucilene Duarte Carvalho²; Adriana Rodolfo da Costa³; Rúbia Santos Corrêa⁴; Janaína de Moura Oliveira⁵

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Arroz e Feijão; ² Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos, do Governo do Estado de Goiás; ³ Universidade Estadual de Goiás; ⁴ Universidade Federal de Goiás; ⁵ Faculdade Metropolitana de Anápolis.

Embora grande parte do arroz irrigado seja produzida no sul do Brasil, o arroz irrigado (*Oryza sativa L.*) produzido em várzeas tropicais, por exemplo, no vale dos rios Araguaia e Tocantins, tem grande importância na economia local, sendo o estado do Tocantins o terceiro maior produtor de arroz no país. A falta de sincronismo entre a época de aplicação de nitrogênio (N) e a de maior demanda da planta resulta em baixa eficiência de recuperação do N pela cultura do arroz irrigado, principalmente devido às perdas desse elemento. O objetivo deste estudo foi estimar a perda de N na forma de óxido nitroso (N_2O) e de amônia (NH_3), em sistema de produção de arroz irrigado em várzea tropical, no Cerrado. O experimento foi conduzido em gleissolo, durante as safras de verão 2011/2012 (S1), 2012/2013 (S2) e na entressafra. A cultivar utilizada foi a BRS Tropical. O experimento consistiu em três tratamentos: (T0) testemunha (sem N); (T1) aplicação da dose recomendada de 90 kg ha⁻¹ de N a lanço em cobertura; e (T2) aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N a lanço em cobertura, baseada no uso do clorofilômetro Minolta SPAD-502. Além da adubação de cobertura, foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N no sulco de plantio em T1 e T2. Os fluxos dos gases N_2O e NH_3 foram quantificados utilizando câmaras estáticas manuais ao longo das safras e da entressafra. A maior perda gasosa total de N ($N-N_2O+N-NH_3$) ocorreu no período anterior à inundação do sistema de produção. O manejo do N utilizando clorofilômetro foi o mais eficiente em reduzir perdas do elemento na forma de NH_3 , mantendo a produtividade de grãos. Em geral, o fator de emissão de N_2O da adubação nitrogenada foi baixo (0,3%), em relação ao valor médio preconizado (1%) pelo IPCC.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Com o manejo da adubação nitrogenada, a quantidade de N aplicada foi reduzida em 15 kg ha⁻¹, sem diminuição da produtividade do arroz (Tabela 1);

- Grandes perdas gasosas de nitrogênio ($N-N_2O + N-NH_3$) ocorrem em um período curto, um mês antes da inundação;
- Dois terços do nitrogênio foram perdidos na forma de amônia (NH_3), e um terço, como óxido nitroso (N_2O);
- O manejo da adubação nitrogenada, baseado no monitoramento dos níveis de clorofila das plantas, resultou em menor intensidade de volatilização, ou seja, menor perda de NH_3 para cada kg de grão de arroz produzido;
- O fator de emissão de N_2O devido ao uso da adubação nitrogenada encontrado neste estudo não foi afetado pelo manejo do N, mas seu valor foi baixo (0,2%-0,3%) em todos os tratamentos, se comparado ao fator médio de emissão preconizado pelo IPCC (1%).

DESAFIOS

- Ainda falta informação relativa ao efeito da adubação verde (com leguminosas e não leguminosas) na dinâmica dos fluxos de N em sistema de produção de arroz irrigado tropical em várzea;
- Falta informação também sobre as perdas de N por lixiviação e o efeito dessas para o lençol freático ou a água fluvial;
- Muita dificuldade foi encontrada na coleta de dados em áreas remotas devido à falta de mão de obra para tanto e às dificuldades do envio das amostras ao laboratório para análise;

- Em geral, há poucos laboratórios que fazem essas análises, sendo a maioria em centros de pesquisa ou em universidades, o que dificulta a obtenção de informação;
- Atualmente, não existe um programa de controle de qualidade no Brasil para a análise de carbono orgânico total e de nitrogênio total em amostras de solo via combustão (análise elementar), NH_3 , N_2O , CO_2 e CH_4 . Tal programa, se organizado, aumentaria muito a credibilidade dos dados obtidos pelas redes de pesquisa.

DADOS PUBLICADOS EM:

CARVALHO, G. D. et al. Impacto do manejo da adubação nitrogenada sobre a emissão de gás de efeito estufa óxido nitroso e a produtividade de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado no Cerrado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 52).

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Beata Emoke Madari

Embrapa Arroz e Feijão

e-mail: beata.madari@embrapa.br.

SOLUÇÕES

- Para evitar perdas gasosas de nitrogênio, sugere-se que a aplicação do adubo nitrogenado seja feita em cobertura, quando a lâmina de água estiver estabelecida e ajustada à necessidade das plantas, por meio do índice de referência via clorofilômetro.

Tabela: Produtividade de grãos de arroz irrigado em várzea tropical para tratamentos com diferentes doses e manejo de N nas safras S1 e S2.

Tratamento	Produtividade (kg ha^{-1})		
	S1	S2	Média
T0	6.361 b	6.323 b	6.342
T1	8.984 a	8.014 a	8.499
T2	10.006 a	8.134 a	9.070
Média	8.451	7.490	8.119

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

AVALIAÇÃO DE FONTES DE NITROGÊNIO (N) NA REDUÇÃO DAS PERDAS DE N POR VOLATILIZAÇÃO DE $N-NH_3$ E EMISSÃO DE $N-N_2O$ NA CULTURA DO FEIJOEIRO COMUM IRRIGADO SOB PLANTIO DIRETO

Márcia Thaís de Melo Carvalho¹; Beata Eموke Madari¹; Maria Conceição Santana Carvalho¹; Pedro Marques Silveira¹; Anna Cristina Lanna¹; Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado¹

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Arroz e Feijão

Entre maio e junho, a produção de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado por pivô central em Goiás é responsável por cerca de 36% do suprimento brasileiro desse legume. Nesse sistema, o feijoeiro é cultivado intensivamente, e a produtividade alcançada pode chegar a 3.500 kg/ha, porém com alto custo financeiro e energético em decorrência do uso de fertilizantes nitrogenados, já que o N e a irrigação são elementos determinantes para a produtividade da cultura (CARMO et al., 2016).

A adoção do plantio direto sobre resíduos de culturas é importante para conservação do solo e da água. Porém, dentre as tecnologias indicadas para o sistema de cultivo sem ou com revolvimento mínimo de solo, a adubação nitrogenada é a que tem gerado maior número de questionamentos. As dúvidas se referem desde mecanismos controladores da disponibilidade do nitrogênio até as reações das diferentes fontes de nitrogênio no solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de fontes de N mineral, sulfato de amônio, ureia, ureia com inibidor de urease (NBPT), biochar e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) sobre as perdas de N por volatilização e emissão em latossolo de Cerrado, cultivado com feijoeiro comum irrigado em plantio direto sobre palhada de braquiária.

Experimento 1. Foi avaliado o efeito da palhada de braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e da fertilização mineral (NPK) sobre a dinâmica dos fluxos de N_2O e NH_3 na safra de inverno no ano de 2008. Os tratamentos foram compostos por: I. feijão-comum cultivado em plantio direto sobre palhada de braquiária e com fertilização mineral; II. feijão-comum cultivado em plantio direto sobre palhada de braquiária e sem fertilização mineral; III. feijão-comum cultivado em plantio direto sem palhada e com fertilização mineral; e IV. feijão-comum cultivado em plantio direto sem palhada e sem fertilização mineral. Os tratamentos com fertilização mineral receberam adubo no plantio, 400 kg ha⁻¹ de N-P-K (5-30-15), e N sintético, com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de ureia (45% N), via irrigação. Para medir fluxos de N_2O e NH_3 , foram utilizadas câmaras estáticas manuais.

Experimento 2. Foram avaliadas duas safras de feijão-comum irrigado em sistema plantio direto, no outono-inverno no Cerrado (maio a agosto) nos anos de 2010 e 2011. Em 04/06/2011, a palhada (a biomassa dos resíduos vegetais sobre o solo, principalmente milheto) pesou, em média, 6 t ha⁻¹. O desenho experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram: sem aplicação de N sintético (CONTROLE) e mais cinco diferentes fontes de N sintético aplicadas na semeadura, no sulco de plantio (20 kg ha⁻¹ de N) e em cobertura, a lanço (80 kg ha⁻¹ de N). As diferentes fontes de N sintético utilizadas foram: I. ureia comum (UREIA) - 44% N; II. ureia com inibidor da urease (UR+NBPT) - 45% N; III. ureia recoberta com polímero (UR+POL) - 41% N + 1% cálcio (Ca); IV. sulfato de amônio (SULFATO) - 20% N + 22% de enxofre (S); e V. nitrato de amônio (NITRATO) - 32% N. A perda de N foi monitorada semanalmente ao longo das duas safras do feijoeiro, utilizando câmaras estáticas manuais.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Experimento 1. O C na biomassa microbiana do solo foi significativamente maior na presença de palhada de braquiária. A maior emissão de N_2O se deu nos tratamentos com braquiária, independente da adubação nitrogenada. Porém, os fatores de emissão para N_2O , a partir do N sintético aplicado nas condições deste estudo, ficaram abaixo dos valores preconizados pelo IPCC (dados "Publicação 1", na Tabela 1);
- Experimento 2. A volatilização de NH_3 representou cerca de 96% das perdas gasosas de N no sistema de produção de feijão-comum irrigado. O fator de volatilização de NH_3 variou entre 1% para nitrato de amônio e 17% para ureia. O uso do inibidor de urease NBPT reduziu em 47% a perda de N por volatilização de NH_3 da ureia. Por outro lado, o uso da ureia revestida com polímero favoreceu a redução da emissão de N_2O , em relação ao uso da ureia comum. O fator de emissão de N_2O para o uso de adubo nitrogenado ficou entre 0,01%

(sulfato de amônio) e 0,36% (ureia), valor abaixo do fator de emissão padrão de 1% preconizado pelo IPCC (dados "Publicação 5", na Tabela 1). A perda gasosa total de N (na forma de N_2O + NH_3) e a intensidade de emissão (Kg N perdido por Kg de grão produzido) foram maiores com a aplicação das fontes à base de ureia do que com o uso das fontes sulfato de amônio e nitrato de amônio. Porém, a ureia com inibidor de urease reduziu a intensidade de emissão em relação ao uso da ureia comum. Portanto, ureia com inibidor de urease, sulfato de amônio e nitrato de amônio são fontes sintéticas de N que podem contribuir para mitigar a emissão de óxido nítrico e a volatilização de amônia em sistemas de produção de feijão-comum irrigado em plantio direto no Cerrado, quando a adubação é realizada em cobertura;

- As fontes de ureia protegida podem ter menores perdas de N_2O ou NH_3 , em relação à ureia comum;
- A volatilização de amônia é mais significativa do que as emissões de N_2O em plantio direto quando o N é aplicado em cobertura sobre a palhada/solo;
- A combinação de FBN e biochar deve ser melhor explorada no contexto da eficiência do uso de N para manutenção da produtividade agrícola;
- O uso de modelos mistos que levem em consideração medidas repetidas no espaço e no tempo é mais adequado para a análise estatística dos fluxos e das variáveis de solo relacionadas.

DADOS PUBLICADOS EM:

DESAFIOS

- Em sistema de produção de feijão irrigado no Cerrado, o tipo de N sintético e sua combinação com tipos de manejo e inibidores podem significar mudanças na intensidade de emissão (perdas de N por kg de grão produzido) ou na eficiência (kg de grão produzido por kg de N perdido). As soluções podem ser adaptadas de acordo com a realidade do sistema de produção. Para o manejo em cobertura do N em sistema de plantio direto, as perdas mais significativas se dão por volatilização de NH_3 . As perdas de N por emissão de N_2O são pequenas e estão relacionadas ao sequestro de C no solo, em sistema plantio direto com palhada de braquiária. As perdas absolutas de N precisam ser referenciadas com o sequestro de C no solo e a produtividade de grãos. Os fatores de emissão de N_2O do fertilizante nitrogenado aplicado são, em geral, mais baixos do que o preconizado 1% pelo IPCC, enquanto que a volatilização de NH_3 varia de acordo com o manejo de aplicação do N sintético, com valores para fator de emissão indireta equivalentes aos preconizados pelo IPCC (Tabela 1).

SOLUÇÕES

- O sistema de plantio direto com palhada de braquiária pode gerar maiores emissões de N_2O devido à acumulação de C no solo; entretanto, isso pode ser compensado dentro do balanço de CO_2eq do sistema de produção justamente pelo sequestro de C no solo;

CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E.; ALVES, B. J. R.; LEAL, W. G. O.; LANNA, A. C.; MOREIRA, J. A. A.; MACHADO, P. L. O. de A.; COSTA, A. R. da; SILVA, J. H. da; SOUZA, D. M. de. Emissão de N_2O e volatilização de NH_3 em sistema de produção de feijoeiro comum irrigado em latossolo no cerrado. Santo Antônio: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 32).

CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. Potencial mitigador da fixação biológica de nitrogênio sobre emissão de N_2O em latossolo de cerrado. In: SEMINÁRIO AGROPECUÁRIA NO CERRADO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2017, Goiânia. Anais [...]. Goiânia: PPGAgro, 2017.

CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; LEAL, W. G. de O.; COSTA, A. R. da; MACHADO, P. L. O. de A.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A.; HEINEMANN, A. B. Nitrogen fluxes from irrigated common bean as affected by mulching and mineral fertilization. Pesquisa Agropecuária Brasileira, (1977 - Imprensa), v. 48, p. 478-486, 2013.

CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; RODRIGUES ALVES, B. J. de; OLIVEIRA LEAL, W. G.; LANNA, A. C.; ALVES MOREIRA, J. A.; MACHADO, P. L. O. de A.; COSTA, A. R. da; SILVA, J. H. da; SOUZA, D. M. da; WISINTAINER, C. N_2O emission and NH_3 volatilization from irrigated common beans in zero tillage in Brazilian Cerrado. 2009 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., v. 6, 092025, 2009. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/1755-1315/6/9/092025>.

Continuação no Anexo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CANTARELLA, H. Uso de inibidor da urease para aumentar a eficiência da ureia. Piracicaba: Informações Agronômicas; IPNI, 2007. n. 117.

CARMO et al. Balanço energético e pegada de carbono nos sistemas de produção integrada e convencional de feijoeiro comum irrigado. Pesq. Agropec. Bras., v. 51, p. 1069-1077, 2016.

LEHMANN, J. Bioenergy in the black. Front. Ecol. Environ., v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007.

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Márcia Thaís de Melo Carvalho

Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás-GO

e-mail: marcia.carvalho@embrapa.br

Tabela 1: Fatores de emissão de N_2O (FEI) e volatilização de NH_3 (FracGASF) do fertilizante nitrogenado (ureia) aplicado em sistema de produção de feijoeiro irrigado sob plantio direto com palhada de braquiária em latossolo de Cerrado

Referência	Sistema	Quantidade de N aplicado	FEI %	FracGASF %
Publicação 1 (CARVALHO <i>et al.</i> , 2013)	N aplicado no plantio e em cobertura via irrigação (fertirrigação)	110 kg/ha	0,2	0,6
Publicação 5 (CARVALHO <i>et al.</i> , 2018)	N aplicado no plantio e em cobertura a lanço	100 kg/ha	0,2	11
Publicação 7 (MADARI <i>et al.</i> , 2007)	N aplicado no plantio e em cobertura a lanço	80 kg/ha	0,1	-
IPCC (2006)*			0,3-3	3-30

Legenda: *KLEIN, C. de; NOVOA, R. S. A.; OGLE, S.; SMITH, K. A.; ROCHETTE, P.; WIRTH, T. C.; McCONKEY, B. G.; MOSIER, A.; RYPDAL, K. N_2O emissions from managed soils, and CO_2 emissions from lime and urea application. In: 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use. [Geneva]: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme; [Hayama]: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. v. 4, cap. 11, p. 11.1-11.54.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E PRÁTICAS DE MANEJO DA ÁGUA COMO MITIGADORES DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM CULTIVO DE ARROZ

Walkyria Bueno Sciuttaro¹; José Maria Barbat Parfitt¹; Marla de Oliveira Farias¹; Anderson Dias Silveira²; Rogério Oliveira de Sousa²; Camila Lemos Lacerda²; Gerson Lübke Buss²; Jonas Wesz²; Gessiele da Silva Corrêa³

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Clima Temperado; 2 Universidade Federal de Pelotas; 3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense.

No Rio Grande do Sul, o cultivo de arroz irrigado é uma atividade de elevada importância econômica e social, contribuindo para a segurança alimentar nacional. O sistema de irrigação predominante no estado – inundações contínuas – proporciona, porém, condições anaeróbicas no solo, que favorecem a produção e a emissão de metano (CH_4), um potente gás de efeito estufa (GEE). A adoção de sistemas de irrigação que proporcionam a condição de solo drenado durante praticamente todo o período de cultivo do arroz (irrigação por aspersão) ou a intermitência da irrigação durante o período de cultivo do arroz (irrigação por inundações intermitentes), bem como as práticas de manejo da água que restringem o período de irrigação ou a altura da lâmina de água (solo saturado), reduzem significativamente as emissões de CH_4 e o potencial de aquecimento global (PAGp), em comparação à inundações contínuas, uma vez que a aeração do solo promove condições aeróbicas no solo, que é desfavorável à metanogênese. Estes sistemas de irrigação e manejos da água favorecem, porém, as perdas de nitrogênio (N) por volatilização da amônia (NH_3) e de óxido nitroso (N_2O) do cultivo de arroz, por promoverem alternância nas condições de oxirredução do solo, que são favoráveis aos processos de nitrificação e desnitrificação, resultando em um aumento substancial das emissões de N_2O (HOU *et al.*, 2000; LIU *et al.*, 2010).

Realizaram-se estudos com o objetivo de avaliar o potencial mitigador de emissões de gases de efeito associado ao uso de sistemas de irrigação por inundações intermitentes e por aspersão para o arroz, bem como avaliar os manejos alternativos da água para a cultura (redução da altura da lâmina de água ou do período de irrigação), em comparação à irrigação por inundações contínuas.

Os estudos foram realizados ao longo de quatro safras agrícolas (2010/2011 a 2013/2014) em planossolo háplico, na Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS. Em um experimento, comparou-se o sistema de irrigação por inundações contínuas [solo inundado entre os estádios de quatro folhas (V4) e a maturação de colheita (R9)], com o sistema de irrigação por inundações intermitentes [solo inundado entre os estádios de quatro a sete folhas (V4 a V7) e de diferenciação da panícula (R1) e grãos leitosos (R6)] e com o sistema com manutenção do solo saturado (entre V4 a R9). Em outro experimento, comparou-se o

sistema de irrigação por inundações contínuas com o sistema de irrigação por aspersão, bem como com uma área de referência (área natural de mesmo solo, sem histórico recente de cultivo).

Em ambos os experimentos, o manejo da cultura do arroz foi realizado de acordo com as indicações técnicas para a cultura (REUNIÃO..., 2010; 2012).

As coletas de ar para análise do CH_4 e do N_2O foram realizadas semanalmente, ao longo do período de irrigação do arroz, utilizando-se o método da câmara estática fechada, adaptado de Mosier (1989). As concentrações dos GEE nas amostras foram determinadas por cromatografia gasosa. Determinaram-se os fluxos e as emissões totais de CH_4 e de N_2O do solo, bem como o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), associados aos sistemas de irrigação e manejos alternativos da água para o arroz avaliados. Os resultados de PAGp foram relacionados, ainda, à produtividade de grãos (PAGp/PG), mediante a divisão dos valores de (PAGp) pelos de produtividade. A partir das emissões sazonais determinadas, calcularam-se os fatores de emissão (FE) de N_2O para a ureia (fonte utilizada de nitrogênio), bem como os fatores de emissão diários de CH_4 para os distintos sistemas de irrigação e práticas de manejo da água para o arroz.

RESULTADOS PRELIMINARES

- O sistema de irrigação por inundações contínuas para o arroz emite praticamente apenas CH_4 , apresentando maior potencial de aquecimento global parcial, em relação aos sistemas de irrigação por inundações intermitentes e com manutenção do solo saturado. Esses sistemas de irrigação proporcionaram fatores de emissão de CH_4 correspondentes a 0,92; 0,72 e 0,70 $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente;
- O sistema de irrigação por inundações intermitentes reduz as emissões de CH_4 do solo, embora intensifique as emissões de N_2O do cultivo de arroz, em relação à inundações contínuas. A redução nas emissões de CH_4 é superior ao incremento nas emissões de N_2O , de forma que a irrigação por inundações intermitentes

proporciona menor potencial de aquecimento global parcial;

- O sistema de irrigação com manutenção do solo saturado retarda e reduz as emissões de CH_4 do solo em cultivo do arroz, sem estimular as emissões de N_2O , proporcionando, portanto, menor potencial de aquecimento global parcial, em comparação aos sistemas de irrigação por inundação contínua e intermitente;
- Os sistemas de irrigação por inundação intermitente e com manutenção do solo saturado apresentam maior eficiência de uso da água, em comparação à inundação contínua;
- Os sistemas de irrigação por inundação intermitente e com redução da altura da lâmina de irrigação (solo saturado) constituem-se em uma estratégia eficiente para mitigação das emissões de gases de efeito estufa do cultivo de arroz;
- O sistema de irrigação por aspersão praticamente elimina as emissões de CH_4 do cultivo de arroz (fator de emissão diário correspondente a $0,002 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), de forma que o N_2O representa quase a totalidade do potencial de aquecimento global desse sistema de irrigação ($> 99\%$);
- A irrigação por aspersão intensifica as emissões de N_2O do cultivo de arroz, em relação à inundação contínua. Apesar disso, o sistema de irrigação do arroz por aspersão contribui consideravelmente para a diminuição do potencial de aquecimento global parcial da cultura, dada a menor emissão de CH_4 ;
- A produção de arroz, seja em sistema irrigado por inundação contínua ou por aspersão, apresenta menor potencial de aquecimento global parcial que a área natural não cultivada (Figura);
- O sistema de irrigação por aspersão, mesmo reduzindo o potencial de produtividade do arroz irrigado, constitui-se em uma estratégia eficiente na mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

DESAFIOS

- O cultivo de arroz em sistema irrigado por inundação intermitente ou por aspersão apresenta elevado potencial mitigador de emissão de gases de efeito estufa, particularmente de CH_4 , em relação à irrigação por inundação contínua. Entretanto, ambos os sistemas potencializam as emissões de N_2O do solo, por propiciarem a alternância nas

condições de oxirredução do solo, podendo reduzir, ainda, o potencial de produtividade da cultura;

- O risco de perda em produtividade do arroz condiciona a resistência dos produtores quanto à adoção de tais sistemas de irrigação, visto não haver qualquer incentivo ao setor produtivo pelo ganho ambiental proporcionado. Cabe, pois, à pesquisa, adequar o manejo da cultura de forma a minimizar, ou mesmo eliminar, as perdas potenciais em produtividade decorrentes da adoção de sistemas de irrigação ou de manejos alternativos da água para o arroz, em relação à irrigação por inundação contínua. Da mesma forma, devem ser disponibilizadas práticas de manejo que reduzam o potencial de emissões de N_2O dos sistemas de irrigação por inundação intermitente e por aspersão para o cultivo do arroz.

SOLUÇÕES

- Os estudos desenvolvidos identificaram que os sistemas de irrigação por inundação intermitente e por aspersão representam alternativas promissoras para mitigar as emissões de CH_4 e o potencial de aquecimento global do cultivo de arroz, em comparação à tradicional irrigação por inundação contínua.

DADOS PUBLICADOS EM:

BUSS, G. L. Emissões de metano e óxido nitroso em cultivo de arroz irrigado por aspersão, alagamento contínuo e intermitente. 2012. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Solos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

BUSS, G. L. Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de cultivo em terras baixas sob diferentes manejos de água, do solo e da cobertura vegetal. 2016. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Solos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; FARIAS, M. O.; CORRÊA, G. S.; LACERDA, C. L.; SILVEIRA, A. D.; SOUSA, R. O.; PARFITT, J. M. B. Emissões de metano e de óxido nitroso em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e aspersão. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 208).

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

Continuação no Anexo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

HOU, A. X.; CHEN, G. X.; WANG, Z. P.; CLEEMPUT, O. van; PATRICK JR., W. H. Methane and nitrous oxide emissions from a rice field in relation to soil redox and microbiological processes. *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, p. 2180-2186, 2000.

LIU, S.; QIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N_2O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. *Science of the Total Environment*, v. 408, p. 906-913, 2010.

MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, 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.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. 28. Bento Gonçalves. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Porto Alegre: SOSBAI, 2010.

Continuação no Anexo

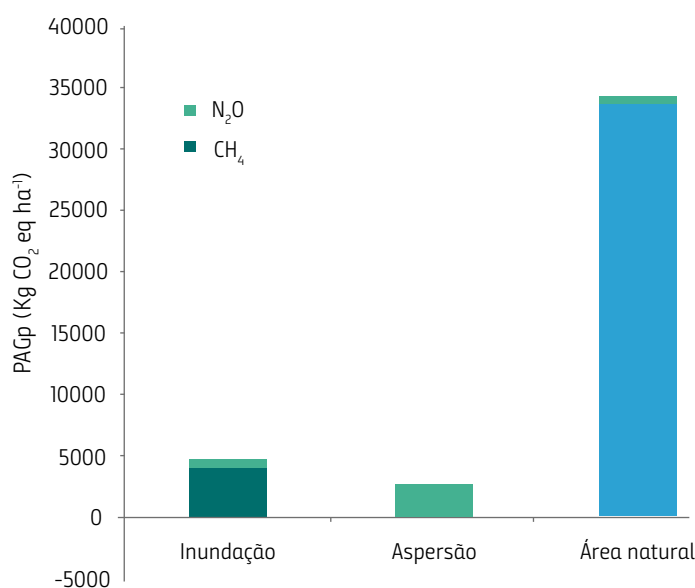
DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Walkyria Bueno Scivittaro

Embrapa Clima Temperado

e-mail: walkyria.scivittaro@hotmail.com

Figura: Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) em planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação, por aspersão e em área natural, ao longo de um ano (períodos de safra e entressafra)



Fonte: Scivittaro et al. (2015).

EMIÇÃO DE N₂O EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO SOB PLANTIO DIRETO E PLANTIO CONVENCIONAL EM LATOSSOLO DO CERRADO

Mônica Matoso Campanha¹; Iuanildo Euódio Marriel¹; Miguel Marques Gontijo Neto¹; Elena Charlotte Landau¹; Manoel Ricardo de Albuquerque Filho¹; Alexandra Duarte de Oliveira²; Arminda Moreira de Carvalho²; Juaci Vitoria Malaquias²; Fabiana Piontekowski Ribeiro³

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Milho e Sorgo; 2 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrados; 3 Universidade de Brasília

O aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera produzidos por atividades antrópicas é apontado como a principal origem das mudanças climáticas globais. A agricultura é uma das principais fontes de GEE, responsável por aproximadamente 12% das emissões antropogênicas globais de GEE (IPCC, 2013). Entre os principais GEE (CO₂, N₂O e CH₄) presentes na atmosfera, o N₂O apresenta o potencial de aquecimento global (GWP) 298 vezes maior do que o CO₂, em um horizonte de tempo de 100 anos (MYHRE *et al.*, 2013). No setor agropecuário, os solos agrícolas são a maior fonte de emissão de N₂O, respondendo por 76% das emissões mundiais. O sistema de manejo dos solos agrícolas e a utilização de nitrogênio (N) podem promover impactos nas emissões de N₂O. Há um consenso em relação à maior emissão de N₂O nos sistemas agrícolas após a aplicação de fertilizantes nitrogenados (BELL *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2016). Entretanto, as pesquisas divergem sobre sistemas e práticas como recomendação de mitigação das mudanças climáticas (BAYER *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2016; FENG *et al.*, 2018).

O Brasil responde por 12% da produção global de grãos, e o bioma Cerrado tem papel expressivo nesse resultado, principalmente para as culturas de soja e milho. A demanda crescente de alimentos implica em um aumento de demanda por fertilizantes nitrogenados.

Na busca de práticas de mitigação das emissões de GEE para o setor agropecuário, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do sistema de manejo, com e sem a prática da fertilização nitrogenada, nas emissões de N₂O, em latossolo cultivado com milho, sob sequeiro na região do Cerrado, e no fator de emissão de óxido nitroso. Para isso, durante um ano (2014/2015), na Embrapa Milho e Sorgo, de Sete Lagoas-MG, foi estudada lavoura de milho em monocultura sob plantio convencional (CT) e plantio direto (NT), com (1) e sem (0) aplicação de fertilizante nitrogenado (0 e 257 kg N ha⁻¹). No plantio convencional (CT), os resíduos foram incorporados com grade pesada seguida de grade niveladora e para o plantio direto (NT), não houve revolvimento do solo sobre a palhada. O milho AG 8088 VT PRO foi plantado no espaçamento de 0,70 m, stand de 60.000 plantas. Nos tratamentos com adubação nitrogenada (CT1 e NT1), foram utilizados 400 kg ha⁻¹ de NPK 08-28-16 +

duas adubações de cobertura com 250 kg ha⁻¹ de ureia cada. Para os tratamentos sem N (CT0 e NT0), foram utilizados 112 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (superfosfato simples) e 64 kg de K₂O ha⁻¹ (KCl) no plantio. A colheita do milho foi em 27/05/2015. Os resíduos da colheita foram incorporados ao solo no sistema CT ou no NT, deixados sob o solo. A partir de então, a área foi deixada em pousio até a próxima estação de crescimento, com o plantio da próxima safra de milho.

Os fluxos de N₂O do solo foram medidos usando câmara estática fechada, sendo eles determinados por cromatografia gasosa e calculados conforme Bayer *et al.* (2015). Foram monitorados também o espaço poroso saturado por água (% EPSA) no solo e o N mineral do solo (nitrato-NO₃⁻ e amônio-NO₄⁺), junto com a precipitação e a temperatura do ar.

As estimativas de emissões de N₂O foram obtidas pela integração dos fluxos com o tempo (fluxo de N₂O acumulado), durante a estação de crescimento (safra) e durante um ano (safra + pousio). Foram calculados o fator de emissão para o milho sequeiro no Cerrado, as emissões acumuladas pela quantidade de grãos e a intensidade de emissão de GEE (GGI, Mg CO₂eq Mg⁻¹ grão).

RESULTADOS PRELIMINARES

- Para os sistemas que receberam adubação nitrogenada, o sistema plantio direto (NT1) emitiu 30% menos N₂O que o sistema de cultivo convencional (CT1), durante o período em que a cultura esteve no campo (estação de crescimento – EC). Na EC, as emissões de N₂O foram: CT1 (4,84 kg ha⁻¹) > NT1 (3,36 kg ha⁻¹) > (NT0 = CT0 = 0,29 kg ha⁻¹);
- A adição de ureia aumentou a emissão de N₂O cerca de 10 vezes mais, quando comparada aos sistemas que não foram fertilizados com N. Para o acumulado de N₂O total (safra + pousio), no período de um ano, as emissões foram: CT1 = NT1 (5,06 e 4,06 kg ha⁻¹, respectivamente) > CT0 = NT0 (0,50 kg ha⁻¹ e 0,31 kg ha⁻¹, respectivamente);

- As emissões de N_2O não aconteceram logo após a fertilização de N; foi observado o efeito combinado da presença de N mineral, sobretudo nitrato e umidade do solo, expressa pelo WFPS;
- Os fatores de emissão para o milho safrão no Cerrado foram de 0,96% no sistema de plantio convencional (CT1) e de 0,79% para o sistema de plantio direto (NT1), valores inferiores, embora dentro da faixa de incerteza, ao sugerido como padrão do IPCC, de 1% (0,3 a 3%);
- O sistema plantio direto com fertilização de N emitiu menos N_2O e foi mais eficiente na conversão da emissão de N_2O por kg de grão produzido, quando comparado ao convencional com adubação nitrogenada. A emissão de N_2O acumulada foi de 769 mg N- N_2O e de 391 mg N- N_2O por kg de grão produzido, para o sistema plantio direto e convencional, com N, respectivamente;
- A intensidade de emissão (GGI) apresentou tendência para menor potencial de aquecimento global quando em sistema plantio direto, com valores de 0,00021 Mg $CO_2eq\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ e 0,00011 Mg $CO_2eq\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ para CT1 e NT1, respectivamente.
- O sistema plantio direto com fertilização de N emitiu menos N_2O e foi mais eficiente na conversão da emissão de N_2O por kg de grão produzido, quando comparado ao convencional, para cultivo de milho safrão no Cerrado;
- A presença de N mineral e a umidade suficiente, no solo, favoreceram as emissões de óxido nitroso, neste estudo;
- Houve uma sinergia de fatores dados pelo preparo do solo e pela adubação nitrogenada, afetando as emissões de óxido nitroso no cultivo de milho. O estudo de diferentes formulações e dosagens de adubos com nitrogênio, assim como sistemas de manejo na produção de grãos no país, poderia resultar em uma estratégia potencial para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa na agropecuária.

DADOS PUBLICADOS EM:

CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, A. D. de; MARRIEL, I. E.; GONTIJO NETO, M. M.; MALAQUIAS, J. V.; LANDAU, E. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; RIBEIRO, F. P.; CARVALHO, A. M. de. Effect of soil tillage and N fertilization on N_2O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. *Science of the Total Environment*, v. 6952, p. 1165-1174, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315>.

DESAFIOS

- Disponibilidade de recursos financeiros para a continuidade e a ampliação das avaliações em diferentes locais e diferentes sistemas de manejo;
- Disponibilidade de recursos humanos treinados para a coleta de campo;
- Estimativa com precisão das emissões anuais do óxido nitroso, em função da grande variabilidade espacial e temporal nessas emissões;
- Avaliação de diferentes tipos e formulações de fertilizantes nitrogenados em áreas de produção de grãos;
- Avaliação de sistemas de manejo de produção de grãos.

SOLUÇÕES

- Os fatores de emissão para o milho safrão no Cerrado foram de 0,96% no sistema de plantio convencional e de 0,79% para o sistema de plantio direto, valores inferiores, embora dentro da faixa de incerteza, ao valor sugerido como padrão do IPCC, de 1%;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 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 Till. Res.*, v. 146, p. 213-222, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.011>.
- BELL, M. J.; CLOY, J. M.; TOPP, C. F. E.; BALL, B. C.; BAGNALL, A.; REES, R. M.; CHADWICK, D. R. Quantifying N_2O emissions from intensive grassland production: the role of synthetic fertilizer type, application rate, timing and nitrification inhibitors. *J. Agric. Sci.*, v. 154, p. 812-827, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000945>.
- FENG, J.; LI, F.; ZHOU, X.; XU, C.; JI, L.; CHEN, Z.; FANG, F. Impact of agronomy practices on the effects of reduced tillage systems on CH_4 and N_2O emissions from agricultural fields: a global meta-analysis. *PLoS One*, v. 13, n. 5, p. 1-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196703>.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2013: the physical science basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2013. Disponível em: <http://www.climatechange2013.org/report/full-report/>.

Continuação no Anexo

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Mônica Matoso Campanha

Embrapa Milho e Sorgo

e-mail: monica.matoso@embrapa.br

BALANÇO DE CARBONO E DINÂMICA DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO

Robélío Leandro Marchão¹, Arminda Moreira de Carvalho¹, Alexsandra Duarte de Oliveira¹, Lourival Vilela¹, Giovana Alcântara Maciel¹, Juliana Hiromi Sato², Cícero Célio de Figueiredo², Bruno José Rodrigues Alves³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados ² Univer sidade de Brasília - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Agrobiologia

O cultivo do milho em consórcio com gramíneas forrageiras é bastante expressivo no Cerrado, sendo considerado uma alternativa eficiente de exploração agrícola com mais sustentabilidade. A forrageira pode ser utilizada tanto para alimentação animal como para formação de palhada para plantio direto, trazendo vários benefícios ao sistema, como melhoria da qualidade do solo, quebra de ciclo de pragas, doenças e plantas invasoras, entre outros. Para incrementar estoques de carbono e de nitrogênio no solo são necessários alta produção de biomassa e acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo. O estoque de carbono no solo está diretamente relacionado com o aumento de nitrogênio, proveniente de sistemas com associação de culturas e plantas de cobertura, como por exemplo as braquiárias que vem se expandindo muito em consórcios com milho, podendo ser mais uma prática de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). As cultivares de braquiária mais modernas, devido aos baixos teores de lignina tem se mostrado bastante eficientes na ciclagem de nutrientes e fornecimento para a cultura de milho, seja em consócio ou em sucessão. Essas gramíneas possuem elevado potencial de proteger o solo, estocar carbono e nitrogênio e ainda fornecer nutrientes, incluindo N para a cultura de milho. Assim, esse plano de ação tem como objetivo quantificar o estoque de carbono e emissão de gases de efeito estufa em sistemas milho/braquiária no bioma Cerrado. Os estudos foram realizados prioritariamente em experimentos de longa duração da Embrapa. Foram realizadas atividades de caracterização dos estoques de carbono e nitrogênio no solo e na palhada/cobertura do solo; Foram levantados os fluxos de N₂O no solo e as variáveis edafoclimáticas (biomassa, nitrogênio mineral, teor gravimétrico de água, densidade aparente, espaço poroso preenchido por água, temperatura do solo e ar, precipitação pluviométrica, umidade relativa, entre outros. A matéria orgânica do solo foi avaliada em relação à quantidade e qualidade. Os dados de atributos químicos e microbiológicos de solo e da matéria orgânica foram relacionados às emissões de óxido nitroso buscando compreender as relações existentes tomando em conta o manejo do solo.

RESULTADOS PRELIMINARES

- sistema plantio direto, têm sido importantes na intensificação sustentável do uso da terra no Brasil. Eles são mais eficientes na ciclagem de nutrientes, melhorando a qualidade do solo e aumentando a sua biodiversidade. Além disso, como já comprovado pela pesquisa, promovem o sequestro de carbono, contribuindo para a mitigação das emissões de GEE;
- Pesquisas anteriores já haviam demonstrado que as emissões de N₂O nos sistemas agrícolas são influenciadas por condições edafoclimáticas (solo, clima, vegetação, entre outras), e que a disponibilidade de matéria orgânica do solo (MOS) é um fator-chave no processo. O estudo avança na compreensão de como se dá o acúmulo de frações de MOS estáveis e lábeis (menos estáveis) nos solos sob integração lavoura-pecuária (ILP) e as possíveis relações com as emissões de N₂O. Os sistemas ILP emitem menos óxido nitroso (N₂O), um importante gás de efeito estufa, quando comparados a lavouras em sistema de plantio convencional. Foi constatado que o uso de gramíneas forrageiras, que aportam matéria orgânica e aprofundam raízes no perfil do solo, influencia esse processo, assim como a presença de agregados com maior diâmetro. Entre as explicações para esse resultado, está o fato de que as gramíneas forrageiras depositam matéria orgânica mais difícil de ser degradada e, além disso, a ILP proporciona solos com agregados maiores. Com mais carbono e nitrogênio acumulados nessas partículas, a matéria orgânica presente é protegida da decomposição feita pela microbiota, os microrganismos que habitam o solo;
- As maiores emissões acumuladas, ao fim dos 146 dias de avaliação durante o ciclo do sorgo consorciado, foram observadas na área com lavoura em plantio convencional, com 1,8 kg/ha de N-N₂O, enquanto as emissões da lavoura contínua sob plantio direto representaram metade dessa emissão (0,9 kg/ha). Entre as áreas cultivadas, o sistema ILP foi o que apresentou as menores emissões acumuladas de N₂O, com 0,79 kg/ha. Na área de Cerrado, considerada a referência positiva

- Os sistemas de integração baseados na rotação pastagem-lavoura associada ao

do estudo e onde as emissões diárias estão sempre próximas de zero, a emissão acumulada do período representou apenas 11% da emissão da lavoura em plantio convencional, que é considerada a referência negativa;

- Nas áreas com ILP, há uma maior mobilização de nitrogênio pelas pastagens na entressafra de grãos, o que reduz a disponibilidade desse elemento químico para a biomassa microbiana responsável pelos processos de nitrificação e desnitrificação;
- Constatou-se ainda que a decomposição de resíduos da lavoura durante a sucessão de culturas na primeira e na segunda safras (soja e sorgo) e a presença da gramínea forrageira com e sem pastejo nos dois sistemas em plantio direto explicam as diferenças nos fluxos de N_2O , nos diferentes sistemas de manejo analisados;
- Uma das conclusões foi que as gramíneas forrageiras tropicais, sobretudo as braquiárias, quando encontram solos de fertilidade construída, como é o caso desse estudo, conseguem expressar todo o potencial de desenvolvimento do seu sistema radicular, que tem um importante efeito físico no solo, protegendo e estabilizando a MOS e mitigando as emissões de GEE.

DESAFIOS

- Apesar de estar presente em proporções bem menores que o gás carbônico (CO_2), o N_2O possui capacidade cerca de 300 vezes maior que a do CO_2 de reter calor na atmosfera. Além disso, o N_2O permanece na atmosfera por mais de 100 anos;
- O Brasil é considerado o principal emissor de N_2O da América Latina. As emissões do gás são influenciadas por uma série de fatores, como: o manejo; a elevada quantidade de água dos solos, que reduz a aeração e promove a anaerobiose; a acidez do solo; o uso de fertilizantes nitrogenados; o plantio convencional, que interfere na aeração, na decomposição dos resíduos vegetais e na flora; e os excrementos de animais, que são fontes de nitrogênio e de carbono orgânico, que favorecem a atividade microbiana;
- Trabalhos conduzidos em outras regiões do mundo com *Brachiaria humidicola* indicam que as menores emissões de óxido nitroso por esses sistemas podem ser explicadas pela capacidade de as raízes liberarem inibidores biológicos de nitrificação, que bloqueiam as rotas enzimáticas das bactérias do gênero *Nitrosomonas*, sendo estas responsáveis pela oxidação da amônia, transformando-a em nitrito. O nitrito sofre nitrificação pelas bactérias

do gênero *Nitrobacter*, tornando-se nitrato. O nitrato é então reduzido a gases de nitrogênio, entre eles o N_2O , na desnitrificação promovida por bactérias heterotróficas;

- Futuras pesquisas que possam entender as relações entre as comunidades de microrganismos presentes no solo e suas interações com a rizosfera em sistemas agrícolas mais complexos, como a ILP, são fundamentais para obter avanços nessa linha de pesquisa. O impacto da presença de outros tipos de microrganismos que estão sendo estudados e recomendados pela Embrapa também poderá ajudar a entender como tornar o ambiente mais propício para o desenvolvimento das plantas com maior produtividade e menor impacto ambiental.

SOLUÇÕES

- Esses e outros resultados estão sendo utilizados para embasar uma grande estratégia de adoção de tecnologias sustentáveis (ou de baixa emissão de carbono). A partir de pesquisas dessa natureza, teve origem o 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), que, entre outras tecnologias, previa a implantação de quatro milhões de hectares de ILP/ILPF no Brasil, entre 2010 e 2020. Em 2015, o Brasil assumiu novos compromissos no Acordo de Paris, com a intenção de implantar mais 20 milhões de hectares de ILPF e recuperação de pastagens degradadas entre 2021 e 2030.

DADOS PUBLICADOS EM:

SANT-ANNA, S. A. C.; JANTALIA, C. P.; SÁ, J. M. et al. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, n. 108, p. 101-120, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9812-z>.

SATO, J. H.; CARVALHO, A. M.; FIGUEIREDO, C. C. et al. Nitrous oxide fluxes in a Brazilian clayey oxisol after 24 years of integrated crop-livestock management. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, n. 108, p. 55-68, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9822-5>.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; MARCHÃO, R. L. et al. Understanding the relations between soil organic matter fractions and N_2O emissions in a long-term integrated crop-livestock system. *Eur. J. Soil Sci.*, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12819>.

SOARES, D.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L. et al. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. *Soil & Tillage Research*, v. 194, p. 104316, 2019.

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dr. Robério Leandro Marchão

Embrapa Cerrados

e-mail: robelio.marchao@embrapa.br

POTENCIAL DE PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO E DA COBERTURA VEGETAL EM MITIGAR AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM TERRAS BAIXAS

Walkyria Bueno Scivittaro¹; Júlio José Centeno da Silva¹; Marla de Oliveira Farias¹; Anderson Dias Silveira²; Camila Lemos Lacerda²; Gerson Lübke Buss²; Jaqueline Trombetta da Silva²; Rogério Oliveira de Sousa²; Thaís Antolini Veçozzi²; Thaís Murias Jardim²; Lilian Medeiros Barros³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Clima Temperado; ² Universidade Federal de Pelotas; ³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense.

O cultivo de arroz irrigado constitui-se em atividade com elevado potencial de emissão de gases de efeito estufa (GEE), particularmente o metano (CH_4), cuja produção está relacionada à decomposição microbiana de materiais orgânicos em ambientes anóxicos, e o óxido nitroso (N_2O), que é produto da transformação microbiana do nitrogênio (N) nativo do solo e presente em resíduos orgânicos (REDDY; DeLAUNE, 2008).

A época, as operações de preparo do solo e o manejo da cobertura vegetal determinam potenciais distintos de incorporação de carbono (C) e nitrogênio (N) ao solo e de emissão de GEE no cultivo de arroz (YAO et al., 2010).

Este estudo teve por objetivo avaliar o potencial de práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal em mitigar as emissões de CH_4 e N_2O em terras baixas cultivadas com arroz irrigado. O estudo foi realizado em planossolo háplico, na Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS.

As avaliações estenderam-se por dois anos, incluindo dois períodos de entressafra (outono/inverno) e de safra (primavera/verão). Os tratamentos compreenderam quatro sistemas envolvendo associações de manejos do solo na entressafra e cultivos de primavera/verão, sendo que todos iniciaram com o cultivo de arroz irrigado: T1- arroz/soja/arroz (arroz irrigado colhido em solo seco, com manutenção da resteva em superfície durante o período de outono/inverno; semeadura direta de soja na primavera; preparo antecipado do solo no outono; semeadura direta de arroz na primavera seguinte); T2- arroz/arroz/arroz (arroz irrigado colhido em solo úmido, com manutenção da área em pousio durante o período de outono/inverno; preparo convencional do solo na primavera e semeadura de arroz, que foi colhido em presença de lâmina de água; preparo do solo com rolo-faca no outono; semeadura direta de arroz na primavera); T3- arroz/arroz/soja (arroz irrigado colhido em presença de lâmina de água, seguido de preparo do solo com rolo-faca; semeadura direta de arroz na primavera, que foi colhido em presença de lâmina de água; preparo do solo com rolo-faca e semeadura direta de soja na primavera); e T4- arroz/soja/arroz com preparo (arroz irrigado colhido em solo seco, seguido de preparo antecipado do solo no outono, semeadura

direta de soja na primavera e colheita no final do verão; preparo antecipado do solo no outono e semeadura direta do arroz na primavera).

Nos cultivos de arroz irrigado e soja, seguiram-se as indicações técnicas da pesquisa para essas culturas no sul do Brasil (REUNIÃO... 2014a, 2014b). Como o estudo envolveu diferentes culturas de verão (arroz irrigado e soja); para comparação, optou-se pela conversão dos dados de produtividade para energia bruta produzida.

As amostragens de ar para a determinação das emissões de CH_4 e N_2O do solo foram realizadas em intervalos regulares de aproximadamente sete dias, utilizando-se o método da câmara estática fechada. As concentrações de CH_4 e N_2O nas amostras de ar foram determinadas por cromatografia gasosa.

Determinaram-se os fluxos e as emissões totais de CH_4 e de N_2O do solo. Com base na emissão acumulada de CH_4 e de N_2O , foi calculado o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), que considera o potencial de aquecimento de cada gás em relação ao CO_2 .

RESULTADOS PRELIMINARES

- O preparo antecipado do solo no outono reduziu as emissões de CH_4 durante a entressafra, em relação ao preparo convencional de primavera e ao preparo do solo no outono/inverno com rolo-faca;
- Durante a entressafra, em sucessão ao cultivo de arroz irrigado, os fatores de emissão de CH_4 corresponderam a: 0,807 $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para a área preparada com rolo-faca; 0,307 $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para a área sob preparo convencional de primavera; 0,044 $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para sob preparo antecipado; e 0,041 $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, na ausência de preparo do solo;
- Independentemente do manejo do solo, as emissões de CH_4 na entressafra são menores que as medidas durante o cultivo de arroz irrigado, variando de 408 $\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$, na área sob preparo convencional, a

438 kg CH₄ ha⁻¹, na área preparada com rolo-faca. Por outro lado, nas áreas cultivadas com soja, pela manutenção do solo oxidado, praticamente não foram determinadas emissões de CH₄ (1,8 a 2,3 kg CH₄ ha⁻¹);

- O preparo antecipado do solo (seco) e o com rolo-faca (com lâmina de água) geraram, respectivamente, fatores de emissão diários de CH₄ para o cultivo de arroz correspondentes a 1,76 e de 2,34 a 2,78 kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹. Por sua vez, o preparo convencional do solo na primavera proporcionou 2,18 kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹. Além das operações de preparo, as emissões de CH₄ do cultivo de arroz estão associadas à cultura antecedente, sendo minimizadas pela rotação com cultivos de sequeiro, como a soja, em relação ao monocultivo de arroz irrigado;
- A manutenção do solo em pousio no período de outono/inverno elimina as emissões de N₂O durante a entressafra, em relação aos manejos com preparo antecipado do solo. Mesmo nesses manejos, as emissões de N₂O durante a entressafra foram pouco expressivas, estando concentradas na safra verão;
- O cultivo de soja em rotação ao arroz irrigado reduz acentuadamente as emissões de CH₄, mas potencializa as emissões de N₂O em terras baixas. Ainda assim, a rotação de culturas com soja minimiza consideravelmente o potencial de aquecimento global parcial em terras baixas, o que representa uma alternativa promissora para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa nesse ambiente.

DESAFIOS

- Os dados obtidos são representativos de sistema de produção envolvendo a rotação arroz irrigado/soja, sendo necessários, porém, novos estudos que contemplem outros sistemas de produção desenvolvidos nas terras baixas do Rio Grande do Sul, particularmente aqueles que incluem a rotação de arroz irrigado com pecuária extensiva e de arroz irrigado com outras culturas de grãos.

SOLUÇÕES

- A partir da presente pesquisa, identificou-se que a inclusão de cultivos de sequeiro em rotação ao arroz irrigado reduz de forma acentuada as emissões de CH₄ e o potencial de aquecimento global parcial das terras baixas do Rio Grande do Sul, constituindo-se em alternativa promissora para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa nesse ambiente. Da mesma forma, a antecipação do preparo do solo para o período de outono-inverno minimiza o potencial de emissão

de gases de efeito estufa do cultivo de arroz, em relação ao preparo convencional de primavera e, sobretudo, em relação ao preparo do solo com rolo-faca.

DADOS PUBLICADOS EM:

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; SILVEIRA, A. D.; SOUSA, R. O. de; SILVA, J. J. C. da. Potencial de práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal em mitigar as emissões de gases de efeito estufa em terras baixas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 38 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 248).

SCIVITTARO, W. B.; FARIAS, M. de O.; SILVA, J. T. da; BUSS, G. L.; SILVEIRA, A. D.; LACERDA, C. L.; SOUSA, R. O. de. Emissões de gases de efeito estufa em área de produção de arroz em função do manejo do solo e da cobertura vegetal. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 225).

SCIVITTARO, W. B.; SILVEIRA, A. D.; LACERDA, C. L.; FARIAS, M. de O.; SOUSA, R. O. de. Sazonalidade das emissões de gases de efeito estufa em terras baixas: efeito do manejo do solo e do cultivo de verão. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 31 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 231).

SILVA, J. T. da. Emissões de metano e de óxido nitroso em área de arroz irrigado influenciadas por sistemas de preparo do solo. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

Continuação no Anexo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

REDDY, K. R.; DeLAUNE, R. D. Biogeochemistry of wetlands: science and applications. Boca Raton, FL: CRC, 2008. p. 257-264.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. OLIVEIRA, Ana Cláudia Barneche de; ROSA, Ana Paula Schneid Afonso da (eds.). Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014a. 124 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 382).

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. 30. Bento Gonçalves. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2014b. 192 p.

YAO, H.; ZHOU, Z.; ZHENG, X.; XIE, B.; MEI, B.; WANG, R.; BUTTERBACH-BAHL, K. ZHU, J. Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystem in China. Plant and Soil, v. 327, p. 315-330, 2010.

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Walkyria Bueno Scivittaro

Embrapa Clima Temperado

e-mail: walkyria.scivittaro@hotmail.com

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA (NH₃) E EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) APÓS APLICAÇÃO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS EM SOLO CULTIVADO COM MILHO

Rogério Gonzatto¹; Ezequiel Cesar Carvalho Miola²; Alexandre Doneda³; Stefen Barbosa Pujol⁴; Celso Aita⁴; Sandro José Giacomini⁴

1 Universidade Federal de Santa Maria; 2 Universidade Federal do Rio Grande; 3 Cooperativa Agropecuária e Industrial; 4 Universidade Federal de Santa Maria.

O Brasil se destaca entre os maiores produtores e exportadores de carne suína do mundo. No atual sistema de produção de suínos praticado no Brasil, são gerados grandes volumes de dejetos, os quais são normalmente manejados na forma líquida. Devido ao seu elevado conteúdo de nitrogênio (N), os dejetos líquidos de suínos (DLS) podem ser utilizados como uma fonte alternativa aos fertilizantes nitrogenados sintéticos. Além disso a distribuição no solo também é uma forma de descarte desses resíduos.

A maior parte do N mineral presente nos DLS encontra-se na forma amoniacal, a qual é rapidamente oxidada até nitrato pela ação de bactérias nitrificadoras. Com a aplicação dos DLS na superfície do solo em sistema de plantio direto (SPD), podem ocorrer perdas significativas de N nas formas gasosas de amônia (NH₃) e óxido nitroso (N₂O), reduzindo o seu potencial fertilizante e impactando negativamente o ambiente. Diante desse cenário, a comunidade científica tem se organizado para estudar os efeitos da aplicação dos DLS, na presença ou na ausência de resíduos culturais na superfície do solo, sobre as emissões de emissões gasosas de N.

A aplicação dos DLS na superfície do solo potencializa as emissões de de N para a atmosfera, sobretudo de NH₃, cuja magnitude varia em função do método, época, e taxa de aplicação dos dejetos, além da composição dos dejetos, do tipo de solo e das condições ambientais. A disponibilidade de carbono (C), que aumenta com a adição dos DLS e com a presença de resíduos culturais, pode influenciar na emissão desses gases, pois as bactérias heterotróficas, responsáveis pela imobilização de N e pela desnitrificação, dependem de fontes de C e energia. Por isso, entender como os DLS aplicados ao solo interferem na magnitude das emissões de NH₃ e N₂O é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais adequadas para esse material orgânico.

O objetivo do trabalho foi avaliar as emissões de NH₃ e N₂O após a aplicação de DLS no milho, com e sem a presença de resíduos culturais no solo de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) na superfície do solo. Para a presente coletânea, o foco será dado apenas às emissões de N₂O.

O estudo foi realizado a campo, em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada a 29° 41' 24" S, 53° 48' 42" W e altitude de 106 m. As emissões de N₂O foram avaliadas durante 90 dias, entre os meses de janeiro e abril de 2011, em parcelas com dimensões de 1 m x 1,6 m nos seguintes tratamentos: T1 - Solo (Testemunha); T2 - Solo + DLS (DLS); T3 - Solo + Palha de aveia-preta (Palha); T4 - Solo + Palha + DLS (Palha + DLS).

Os dejetos foram aplicados manualmente, em 19/01/2011, na dose de 60 m³ ha⁻¹, antecedendo em dois dias a semeadura do milho (híbrido Pioneer P3646). Nos tratamentos T3 e T4, a palha de aveia-preta foi adicionada ao solo na dose de 4,0 Mg ha⁻¹, a qual foi coletada no estágio de maturação fisiológica. As avaliações dos fluxos de N₂O foram realizadas segundo os procedimentos descritos por Rochette & Bertrand (2008). As coletas foram realizadas de três a quatro vezes por semana, durante os primeiros 30 dias, e, após a emissão dos tratamentos se aproximar dos níveis obtidos no T1, as coletas foram espaçadas uma a duas vezes, a cada 15 dias. A concentração de N₂O das amostras de ar coletadas foi determinada por cromatografia gasosa.

RESULTADOS PRELIMINARES

- As emissões de N₂O aumentaram logo após a aplicação dos DLS, principalmente quando os dejetos foram aplicados sobre os resíduos culturais de aveia-preta;
- Os maiores picos de emissão de N₂O ocorreram após as irrigações e/ou precipitações. No sétimo dia de avaliação, após uma precipitação de 40 mm, a emissão de N-N₂O no tratamento Palha + DLS superou em 200% (> 844 µg de N-N₂O m⁻² h⁻¹) a emissão do tratamento apenas com DLS;
- Aproximadamente 90% das emissões totais de N-N₂O ocorreram nos primeiros 36 dias após a aplicação dos dejetos. ;

- As emissões acumuladas de $\text{N-N}_2\text{O}$ variaram de 1,1 a 3,2 $\text{kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ com o maior valor obtido quando a palha de aveia-preta esteve presente na superfície do solo e os DLS foram aplicados (Tabela);
- O tratamento palha + DLS apresentou fator de emissão de 1,3% (acima do valor de 1% preconizado pelo IPCC) enquanto no tratamento apenas com DLS o fator de emissão foi de apenas 0,1% (Tabela).

DESAFIOS

- A falta de controle sobre as condições ambientais nos estudos de campo (por exemplo, precipitação, temperatura, vento, entre outras) podem incorrer em variações nas avaliações;
- A grande variedade de plantas de cobertura e a variação na qualidade/composição bioquímica de seus resíduos culturais poderão adicionar novas variáveis aos futuros estudos sobre o efeito da palha associada à aplicação de dejetos animais;

SOLUÇÕES

- A aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) sobre resíduos culturais de aveia-preta pode contribuir para o aumento das emissões de óxido nitroso para a atmosfera.

DADOS PUBLICADOS EM:

GONZATTO, R.; MIOLA, E. C. C.; DONEDA, A.; PUJOL, S. B.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. *Ciência Rural*, v. 43, n. 9, p. 1590-1596, 2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ROCHETTE, P.; BERTRAND, N. Soil-surface gas emissions. In: CARTER, M.; GREGORICH, E. G. (eds.). *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton, FL: CRC, 2008. p. 851-861.

COORDENADOR DO PROJETO

Prof. Dr. Celso Aita

Universidade Federal de Santa Maria

e-mail: celsoaita@gmail.com

Tabela: Quantidade total de nitrogênio (N) adicionada com os dejetos, emissão acumulada de N_2O e fator de emissão de N_2O após a aplicação dos dejetos líquidos de suínos (DLS) na superfície do solo com e sem palha

Tratamentos	N adicionado com os DLS	Emissão acumulada de N_2O	Fator de emissão
	kg N ha^{-1}	$\text{kg de N-N}_2\text{O ha}^{-1}$	% do N adicionado
Testemunha		1,1 b*	
DLS	160	1,3 b	0,1 b
Palha		1,1 b	
Palha + DLS	160	3,2 a	1,3 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%.

3

FATORES DE EMISSÃO E
REMOÇÃO DE SISTEMAS
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO
E FLORESTAS PLANTADAS



Sistemas integrados de produção como estratégia efetiva para a sustentabilidade na agropecuária

Juan Vicente Guadalupe Gallardo¹; Alan Rodrigo Panosso²; Fernanda Garcia Sampaio^{3,4}; Katia Marzall⁴; Eleneide Doff Sotta^{3,4}

¹ Consultor especialista em mudanças climáticas e agropecuária; ² Universidade Estadual Paulista; ³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Ambiente; ⁴ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

A agropecuária é uma atividade de vital importância na economia do Brasil e está presente em todos os municípios do País (OLIVEIRA et al., 2017). Devido ao desenvolvimento de tecnologias de ponta para a agricultura tropical e a grande disponibilidade de terras para uso agropecuário, o País ocupa uma posição de destaque mundial na produção de alimentos, com participação central na economia nacional, e essencial na promoção da segurança alimentar. O setor agropecuário brasileiro, assim como as demais atividades produtivas, contribui com as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), porém representa somente 0,83% das emissões globais totais. Em relação às emissões nacionais, a agropecuária representa aproximadamente 34% das emissões de GEE de origem antrópica, sendo a maior quantidade de emissões dos subsetores Fermentação Entérica e Solos Agrícolas com uma contribuição de 56,5% e 36,0%, respectivamente (BRASIL, 2019).

Segundo projeções do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), se prevê um crescimento contínuo do agronegócio brasileiro num horizonte temporal de 10 anos (2017/2018 – 2027/2028), tanto na produção de carne (1,9% anual) como de leite (2,5% anual) (BRASIL, 2018). Devido a esse crescimento, projeta-se também um incremento das emissões de GEE do setor, o que gera uma preocupação não apenas no nível nacional como também no âmbito internacional (OLIVEIRA et al., 2015). No entanto, já se sabe que dependendo do manejo aplicado aos sistemas de produção é possível obter um equilíbrio entre as fontes e sumidouros de GEE que compõem estes sistemas.

A adoção de sistemas agropecuários sustentáveis que integrem o conhecimento de outras disciplinas e as práticas de manejo de outros sistemas de produção, que levem a melhorar os atuais níveis de produtividade, sem agredir o ambiente nem comprometer os recursos no longo prazo, são uma alternativa viável não apenas para controlar o fluxo de GEE do solo para atmosfera e manter um balanço positivo de carbono (C), mas também para contribuir com melhoramento das economias locais, impactando positivamente a economia nacional (OLIVEIRA et al., 2017).

Segundo levantamento de dados da agricultura, na safra 2015/2016, estimou-se que o Brasil possuía aproximadamente 11,5 milhões de hectares com sistemas integrados de produção, ocupados 83% com sistemas agropastoris (ILP), 9% com agrossilvipastoris (ILPF) e 7% com silvipastoris (IPF) (EMBRAPA, 2016a).

Os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) tem um potencial de sequestrar C. A incorporação nos sistemas agropecuários de outros componentes como as árvores, em especial as de rápido crescimento, como os eucaliptos, potencializam a remoção de CO₂ da atmosfera, mitigam os gases produzidos pelo gado e ainda proporcionam maior conforto térmico aos animais (CARVALHO, 2014). Esses resultados deram embasamento ao conceito da Carne Carbono Neutro. Segundo pesquisadores da Embrapa, os

resultados da instalação desses sistemas integrados indicam um balanço de C positivo de 1,3 e 23,0 t CO₂eq ha⁻¹ano⁻¹, para ILP e ILPF, respectivamente, enquanto a pastagem com baixa produtividade apresenta um balanço negativo de -0,4 t CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹ (EMBRAPA, 2016b).

Os sistemas integrados de produção (SIP) são promovidos pelo Plano ABC através de instrumentos financeiros e de fomento, sobretudo capacitação e assistência técnica. Portanto, o aumento de área sob esse sistema busca também contribuir com o compromisso brasileiro de redução das emissões de GEE, em particular, no controle das emissões oriundas do setor agropecuário (BRIANEZI *et al.*, 2014). Os SIP são elemento central das ações do Plano ABC, pois têm destaque nos ganhos produtivos e ambientais, além de potencial de sequestro de CO₂eq. Segundo a estimativa preliminar, os sistemas integrados foram responsáveis pelo sequestro de 21,8 milhões de toneladas de CO₂eq entre 2010 e 2015, atendendo, e superando, as expectativas estabelecidas no Plano ABC para o referido período, que se estimava entre 18 a 22 milhões de toneladas de CO₂eq (EMBRAPA, 2016a).

Por meio das diferentes contribuições desta coletânea, pode-se evidenciar que existem importantes avanços no conhecimento dos SIP. Em especial, ressalta-se a contribuição de resultados do Projeto Pecus¹, que avaliou as emissões e remoções de N₂O e CO₂ em sistemas de produção nos biomas Amazônia, Mata Atlântica e Pampa, focando na avaliação dos componentes lavoura (L) e floresta (F). No entanto, os resultados dos estudos também mostram que ainda se faz necessário o preenchimento de algumas lacunas de informação para garantir a sustentabilidade dos SIP.

A seguir, são descritos brevemente os resultados das pesquisas apresentadas neste capítulo que evidenciam os esforços e avanços logrados.

Lima *et al.* (p. 116) avaliaram a emissão de N₂O provenientes de solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha*, sob dois métodos de pastejo – pastagem rotacional (PR) e pastagem contínua (PC) –, em experimento realizado no município de Pirassununga-SP, no período de 24 de janeiro a 11 de outubro de 2014. No método PR, em uma área de pastagem de 0,315 ha, bovinos da raça Nelore ocuparam-na por sete dias, seguida de descanso por 28 dias, completando um ciclo de 35 dias, por dois ciclos. Foi feita uma aplicação de 60 kg de N ha⁻¹ de nitrato de amônio em fevereiro. Uma parte da área foi isolada com lona, não recebendo a mesma adição de adubo. No método PC, os animais permaneceram no piquete durante todo o período estudado, e a área permaneceu sem adubação. No PR, a diferença entre os tratamentos com e sem adubação foi de 13,14 mg N-N₂O m⁻² dia⁻¹, enquanto no PC as emissões totalizaram 5,16 mg de N-N₂O m⁻² dia⁻¹ no período. Com base nesse valor, foi estimado um fator de emissão de óxido nitroso de 0,0022 (22% do FE recomendado pelo IPCC – 0,01) para emissões diretas de N₂O derivadas da adição de fertilizantes nitrogenados.

Costa *et al.* (p. 118) usaram o modelo de Desnitrificação-Decomposição (DNDC) para estimar as emissões de óxido nitroso (N₂O) nos sistemas de: I. pasto puro de gramínea *Brachiaria humidicola* (Rendle) Scheick. (G); II. gramínea *B. humidicola* consorciada com amendoim forrageiro *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. cu. BRS Mandobi (GL), ambos sem fertilização; e III. em floresta nativa (FN), classificada como aberta/densa, de bambu, que foi a referência para avaliar a mudança de uso do solo de floresta nativa para pastagem. Todos os sistemas

¹ O projeto Pecus (2011-2016), coordenado pela Embrapa Pecuária Sudeste, foi estruturado em doze projetos componentes e executado no formato de rede de pesquisa, contando com a participação de mais de 300 pesquisadores no Brasil e no exterior, resultado da ação conjunta de várias instituições. Seu objetivo principal foi avaliar a dinâmica de gases de efeito estufa (GEE) e o balanço de Carbono (C) em sistemas de produção agropecuários nos seis biomas brasileiros (Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal, Pampa, Amazônia e Cerrado), visando conhecer o estado atual das emissões de GEE, identificar alternativas de mitigação de emissões e subsidiar políticas públicas.

com o mesmo tipo de solo, um Argissolo Vermelho-Amarelo plíntico. O experimento foi instalado em 2011, na Fazenda Guaxupé, em Rio Branco-AC. A retirada da floresta nativa do solo ocorreu em 1981. As coletas de solo foram realizadas de fevereiro a dezembro de 2014 e de janeiro a julho de 2015 nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. Os resultados das análises e as informações meteorológicas foram as entradas no modelo DNDC para prever as emissões de N_2O . A emissão média de N_2O em 166 dias seguiu a ordem: pasto puro ($35,8 \mu g N m^{-2} h^{-1}$) > floresta nativa ($28,2 \mu g N m^{-2} h^{-1}$) > pasto consorciado ($27,2 \mu g N m^{-2} h^{-1}$).

Pilecco *et al.* (p. 122) avaliaram o efeito da sobressemeadura do azevém na soja, em um sistema ILP, sobre a emissão de N_2O e a produção de forragem. O experimento foi conduzido durante dois anos agrícolas, em dois sistemas de uso do solo em plantio direto: I. ILP com soja na primavera/verão e azevém anual no outono/inverno semeado em sobressemeadura quando a soja estava em estágio R7 (ILP-I); e II. ILP com soja na primavera/verão e azevém anual no outono/inverno semeado após a colheita da soja (ILP-II), em argissolo, na cidade de Santa Maria-RS. Os resultados mostraram que a sobressemeadura do azevém no estágio de maturação de grãos da soja reduz o conteúdo de NO_3 no solo e, consequentemente, as emissões de N_2O , e que esta pode ser considerada uma prática mitigadora das emissões de N_2O do solo.

Weiler *et al.* (p. 124) conduziram um estudo durante dois anos, na cidade de Santa Maria-RS, para quantificar as emissões de N_2O e determinar os fatores de emissão após o manejo de plantas de cobertura de verão (PCV), em solos classificados como Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Os tratamentos consistiram em um tratamento de pousio e de seis espécies de PCV cultivadas no período de janeiro a abril e manejadas com rolo-faca no pleno florescimento das espécies, e a área foi cultivada com aveia-preta e aveia-branca no primeiro e no segundo ano, respectivamente. Os resultados evidenciaram a alta capacidade de produção de biomassa e de fixação biológica de N no caso das PCV leguminosas em curto período (78 e 88 dias), possibilitando seu cultivo no verão no período de intercultura. A maioria das espécies, com exceção do milheto e da *Crotalaria spectabilis*, apresentou fatores de emissão abaixo de 1%, como preconizado pelo FE do IPCC. O estudo demonstrou que a inclusão de PCV em sistemas de culturas resulta em baixas emissões de N_2O .

Zanatta *et al.* (p. 100) avaliaram a contribuição do pínus (*Pinus taeda* L.) para o C do solo, na localidade de Rio Negrinho-SC, sob um cambissolo. Os resultados mostraram que, na primeira rotação de pínus (após a conversão de floresta), houve uma depleção de 22% nos estoques de C do solo, o que gera um fator de alteração de C da ordem de 0,81 para a camada de 0-30 cm e 0,78 na camada de 0-100 cm. Já na segunda rotação, houve uma recuperação dos estoques iniciais de C, gerando um fator de emissão/remoção de C, em relação à mata nativa, de 0,97 na camada de 0-30 cm e 1,19 na camada de 0-100 cm. Isso demonstra que plantios de pínus bem manejados na região de estudo podem contribuir para a manutenção e a recuperação dos estoques de C no solo.

Jacovine *et al.* (p. 128) avaliaram o balanço de C em diferentes sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris, visando auxiliar no aprimoramento das estimativas sobre a contribuição de sistemas integrados na redução de emissão e no aumento da remoção de GEE, em diferentes localidades do estado de Minas Gerais. Os resultados mostraram que os sistemas agroflorestais possuem um balanço de carbono positivo. As remoções ($21,78$ a $200,14 t CO_2eq ha^{-1}$) foram maiores que as emissões ($2,78$ a $17,57 t CO_2eq ha^{-1}$), o que gera, assim, um saldo positivo de C e evidencia o potencial desses sistemas para a mitigação de GEE na atmosfera.

Panosso *et al.* (p. 110) avaliaram, na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista, localizada no município de Selvíria-MS, a influência dos usos de cerrado nativo (CE), floresta de eucalipto (EU), floresta de pinus (PI) e sistema silvopastoril (SI, braquiária consorciada com aroeira vermelha) sobre a dinâmica da emissão de CO₂ do solo, bem como sua relação com o grau de humificação da matéria orgânica e o estoque de carbono de um latossolo na região do Cerrado sul-matogrossense. Os dados foram coletados após 30 anos de conversão do Cerrado para os usos EU, PI e SI. A área de cerrado nativo (CE) apresentou a maior emissão de CO₂ do solo com 4,55 μmol m⁻² s⁻¹, enquanto que as menores emissões se apresentaram nos sistemas PI e SI, com 2,98 μmol m⁻² s⁻¹ e 3,22 μmol m⁻² s⁻¹, respectivamente. O maior estoque de carbono, na camada de 0-10 cm, apresentou-se no CE com 21,57 Mg ha⁻¹, seguidos do SI (21,34 Mg ha⁻¹), EU (20,67 Mg ha⁻¹), e PI (13,91 Mg ha⁻¹), respectivamente. Nas demais profundidades, o SI exibiu os maiores estoques de carbono, sempre seguido de CE, EU e PI.

Escanhoela *et al.* (p. 132), em um estudo realizado com pomares de laranja (*Citrus sinensis*), em uma fazenda comercial localizada no município de Sorocaba-SP, verificaram a capacidade, de um sistema de manejo orgânico, de contribuir com o sequestro de carbono no solo e de mitigar as emissões de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O). As emissões foram medidas durante duas aplicações consecutivas no solo com fertilizantes orgânicos e inorgânicos. Um fragmento adjacente sazonal da floresta semidecidual foi usado como referência os estoques de C e N e suas razões isotópicas estáveis. A conversão da floresta para o pomar de citros foi realizada 42 anos antes da instalação do experimento. Os resultados mostraram que o manejo orgânico não promoveu o sequestro de C após seis anos de manejo. No entanto, os resultados do solo sugerem um pequeno balanço positivo de C durante o sexto ano (1%), o que pode representar um sequestro significativo de C após um longo período de manejo. Além disso, o manejo orgânico aumentou as emissões de N₂O (FE = 3,14%), e o balanço de GEE apresentou melhores respostas para agricultura convencional na determinação da relação entre a colheita e as emissões.

Volk *et al.* (p. 134) conduziram um estudo para caracterizar o estoque de carbono e nitrogênio orgânico e a emissão de gases de efeito estufa (GEE) do solo, bem como para entender como eles se relacionam com a vegetação e o manejo dos animais. As avaliações das emissões de gases do solo foram feitas entre 2014 e 2015, em área de campo nativo com novilhos da raça Hereford, em três níveis de intensificação: I. pastagem natural (PN); II. pastagem natural fertilizada (PNA); e III. pastagem natural fertilizada e sobressemeada com azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*) (PNM). Entre outros resultados importantes, foi encontrada uma relação positiva e significativa entre o estoque de C e N no solo com a massa de raízes, indicando que o correto manejo do pastejo dos animais conduz ao aumento da produção de raízes e ao aumento do estoque de carbono e nitrogênio orgânicos. Chegou-se à conclusão de que a maior diversidade da composição botânica está positivamente relacionada com o maior estoque de carbono orgânico no solo. Foi observado, também, que as emissões oscilaram ao longo do ano, demonstrando forte dependência de fatores climáticos (chuva e temperatura, principalmente).

Chaves *et al.* (p. 122) avaliaram o estoque de carbono em pastagens melhoradas, numa área destinada à unidade de referência tecnológica (URT) da Embrapa Amazônia Oriental, localizada na Fazenda Vitória, no município de Paragominas, do sudeste do estado do Pará. O tipo de solo é classificado como Latossolo Amarelo de textura argilosa. Foram avaliadas as seguintes cronossequências: I. vegetação nativa (VN), utilizada como referência, classificada como floresta ombrófila densa (localizada próximo à pastagem); II. pastagem degradada (PD), destinada à pecuária extensiva, formada por *Brachiaria humidicola*, com alta infestação de

plantas daninhas, e manejada com fogo para renovação; III. pastagem melhorada em integração com paricá (*Schizolobium amazonicum*) (PP); e IV. pastagem melhorada, em integração com mogno-africano (*Khaya* spp.) (PM). As coletas de solo foram realizadas em diferentes anos, ao longo do estudo (1993-2013). Os principais resultados apontaram que o estoque de C no solo (0-30 cm) da área de VN foi semelhante às áreas de pastagens recuperadas (próximo a 55 Mg ha⁻¹) e diferia da área de PD (42,4 Mg ha⁻¹). A maior parte do carbono estocado no solo nas áreas de pastagens recuperadas é originário de plantas com rota fotossintética do tipo C3. A maior contribuição das pastagens (plantas C4) ocorreu na camada 0-10 cm, com 21% na PM e 23% na PP, permanecendo abaixo de 15% nas camadas subsuperficiais.

Mello *et al.* (p. 90) utilizaram diferentes modelos não lineares mistos, usando dados de solos (f2C.2.0, f2C.2.A, f2C.2.B e f2C.2.C) para explicar a dinâmica do estoque de C e N no solo, em sistema pecuário com diferentes manejos ao longo do tempo, na Fazenda Vitória, localizada no município de Paragominas-PA. Estudaram-se três padrões distintos de uso e cobertura do solo: I. sistema agrossilvipastoril formado por *B. brizantha* cv. *Piatã* entre faixas de cultivo de *Schizolobium amazonicum* (paricá); II. sistema agrossilvipastoril formado por *B. brizantha* cv. *Piatã* entre faixas de cultivo de *Khaya* spp. (mogno-africano); e III. floresta secundária. Os dados do solo foram coletados em 2013 em amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), com três repetições em cada área, nas seguintes camadas: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-130 e 130-150 cm. O teor de C e N (g kg⁻¹) foi analisado no analisador elementar Carlo Erba CHN 1110. O estudo mostrou que o modelo f2C.2. A foi o que melhor se ajustou aos dados observados de carbono no solo, o qual mostrou a existência de uma alta variabilidade, nas camadas mais superficiais no solo, de teores de C e N. Esse modelo se mostrou eficiente para a descrição do teor de C e N no solo, sendo uma valiosa ferramenta de monitoramento e estimativa dos estoques no solo.

As pesquisas relacionadas com a avaliação de sistemas integrados de produção e de plantios florestais, apresentadas na presente coletânea, estão concentradas nas Regiões Sul e Sudeste, com uma atuação importante da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Minas Gerais. A UFV tem gerado importantes resultados em relação ao potencial dos sistemas agroflorestais para mitigar as emissões de GEE, especialmente relacionado com o sequestro de C do componente florestal dos sistemas agrossilvipastoris. Em relação às pesquisas relacionadas com emissões/remoções em florestas plantadas, a maior parte dos esforços está concentrada nos estados da Região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). A presente coletânea, no entanto, não retrata todos os esforços nacionais de pesquisa realizada no tema, sendo apenas um recorte que reflete as contribuições recebidas.

Os sistemas integrados de produção apresentam uma maior complexidade para a medição dos fluxos dos diferentes GEE que são gerados, devido aos diversos componentes e aos arranjos particulares de cada sistema produtivo estabelecido. Pela importância que os sistemas integrados têm como um instrumento efetivo de promover maior resiliência e ganhos econômicos para a agropecuária, além de contribuir com a mitigação de emissões de GEE, o País tem se esforçado para gerar FE e inovações tecnológicas para aumentar sua adoção em todo território nacional. Os resultados apresentam que os valores dos FE gerados para as PCV estão dentro do intervalo de incerteza do FEI de 1% do IPCC (2006), sendo a maioria deles inferior a 1%. Isso mostra a importância de contar com dados de FE específicos para cada região, de maneira que as estimativas de emissões locais sejam aprimoradas cada vez mais e contribuam para uma melhor contabilização nacional.

Igualmente é necessário continuar trabalhando na geração de FE específicos para o componente agrícola e pecuário dentro dos sistemas integrados, para demonstrar sua eficácia como uma ferramenta de mitigação de GEE e como um modelo de manejo sustentável na agricultura. Além disso, é necessário se aprofundar em estudos que avaliem os arranjos que possam ter

uma maior produtividade e lucratividade, ao mesmo tempo que consigam uma maior redução de emissões e até mesmo uma maior fixação de C no solo e na biomassa. Destaca-se que algumas contribuições de sistemas integrados de produção com o componente pecuária estão presentes na Coletânea de Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Pecuária Brasileira.

Referências bibliográficas

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio Brasil 2017/18 a 2027/28. Projeções de longo prazo. Brasília: MAPA, 2018. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politicaagricola/projecoes-do-agronegocio/proj_agronegocio2016.pdf/view.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 5. ed. Brasília: MCTIC, 2019. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2020/06/Livro_Digital_5Ed_Estimativas_Anuais.pdf.

BRIANEZI, D. et al. Balanço de emissões e remoções de gases de efeito estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa. *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 2, p. 182-191, 2014.

CARVALHO, J. L. N. et al. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 183, p. 167-175, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.014>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. ILPF em números. Brasília: Embrapa, 2016a. Disponível em: <https://www.redeilpf.org.br/arquivos/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas integrados promovem balanço de carbono positivo. Notícias Embrapa, Brasília, 9 dez. 2016b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18799031/sistemas-integrados-promovem-balanco-de-carbono-positivo>

OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anchão et al. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4. 2017. Palestras [...]. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Campus Pato Branco, 2017. p. 23-32. (Palestras: intensificação com sustentabilidade.). Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estruturauniversitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipaeilpsb>.

OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anchão et al. Emissões de GEE e amônia em sistemas pastoris: mitigação e boas práticas de manejo. In: SILVA, S. C. da; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de (org.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM. 27.: Sistemas de produção, intensificação e sustentabilidade da produção animal, 2015, Piracicaba. Anais [...]. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 179-223. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307923389_Emissoes_de_GEE_e_amonia_em_sistemas_pastoris_mitigacao_e_boas_praticas_de_manejo.

AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO EM PASTAGENS SOB MANEJO ROTACIONAL E CONTÍNUO NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

Magda Aparecida de Lima¹; Cristiano Alberto de Andrade¹; Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto¹; Valdo Herling²; Heloisa Ferreira Filizola¹; Giuliana Peres³; Vanessa Piotto³; Fabrício Narezzi³; Priscila Grutzmacher³; Giovana Batista³; José Adriano Silva³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Ambiente; ² Universidade de São Paulo; ³ Bolsistas da Embrapa.

A mensuração das perdas de gás nitrogênio na savana tropical ainda é escassa na literatura, especialmente sobre os fatores de emissão de óxido nitroso em solos com adição de fertilizante nitrogenado. O sudeste do Brasil é uma região com expressiva produção de gado de corte, cerca de 5,76 milhões de cabeças, segundo a Secretaria de Agricultura e Abastecimento (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2007/2008). Os métodos de pastoreio utilizados são comumente classificados como pastagens contínuas ou rotativas. No primeiro, os animais têm acesso ininterrupto à área de pastagem, durante todo o período de pastejo permitido; e, no segundo, as pastagens rotativas se utilizam de períodos de pastejo e descanso entre os piquetes.

Este trabalho objetivou quantificar as emissões de N_2O provenientes de solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha*, sob dois métodos de pastejo – pastagem rotacional (PR) e pastagem contínua (PC) –, na estação experimental da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, da Universidade de São Paulo, localizada no município de Pirassununga-SP. O trabalho foi realizado entre os dias 24 de janeiro e 11 de outubro de 2014, sendo que os dados apresentados aqui se referem ao período de 24 de janeiro a 19 de março de 2014, na estação de verão (Figura). O clima da região é caracterizado como subtropical, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação anual de 1.300 mm e temperatura média de 23 °C, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo é classificado como Ferralsol Vermelho (classificação FAO), com 31% de argila nos 20 cm superiores.

No método PR, utilizou-se uma área de pastagem de 0,315 ha, onde bovinos da raça Nelore ocuparam-na por sete dias, seguida de descanso por 28 dias, completando um ciclo de 35 dias. O período deste experimento compreendeu aproximadamente dois ciclos no verão. No primeiro ciclo, foram utilizados nove animais machos, com peso médio de 279,06 kg, e, no segundo, sete animais com peso médio de 304,29 kg. Uma aplicação de fertilizante nitrogenado (nitrato de amônio) foi feita em 3 de fevereiro, de modo a contabilizar 60 kg de N

por hectare. Uma parte da área foi isolada com lona, não recebendo a mesma adição de adubo. No método PC, os animais permaneceram no piquete durante todo o período estudado, e a área, sem adubação. Três animais foram utilizados no início (com peso médio de 274,4 kg) e no final (com peso médio de 316,0 kg) do segundo ciclo.

A amostragem de gás para a determinação do fluxo de N_2O do solo ocorreu em dias alternados, utilizando câmaras de PVC instaladas nas parcelas experimentais, de acordo com a técnica de câmara estática descrita por Keller & Reiners (1994). As câmaras são compostas por uma base de PVC de 30 cm de diâmetro e 20 cm de altura, uma tampa de 10 cm de profundidade, contendo um septo para a coleta de gás e um respiro. As bases foram inseridas no solo a uma profundidade de 3 cm. Vinte câmaras foram utilizadas para 15 eventos de amostragem, sendo oito delas para o tratamento PR com adubação, quatro para PR, sem adubação, e oito para o manejo de pastagem contínua (PC), sem adubação. As amostras foram coletadas com seringas plásticas, da marca BD, de 60 mL e transferidas para frascos (vacutainers) de 12 mL, da LABCO Exetainer. No Laboratório de Biogeoquímica da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna-SP, as amostras de gases foram analisadas em cromatógrafo a gás, da marca Shimadzu GC-2014 (Greenhouse), equipado com um detector de captura de elétrons (ECD) e um detector de ionização de chama (FID). O fluxo de N_2O do solo foi calculado de acordo com Jantalia et al. (2008).

Os dados apresentados aqui se referem a uma parte do experimento realizado no verão. Atualmente, está sendo organizado um trabalho com os dados completos, compreendendo todo o experimento.

RESULTADOS PRELIMINARES

- As emissões acumuladas para o pasto fertilizado foram estimadas em 17,90 mg de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que, no pasto não fertilizado, foram 4,84 mg de $N-N_2O \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A diferença entre

os tratamentos com e sem adubação no pasto rotacionado foi de 13,14 mg N-N₂O m⁻², equivalente a 0,13 kg N-N₂O ha⁻¹. No pasto contínuo, as emissões totalizaram 5,16 mg de N-N₂O m⁻² dia⁻¹ no período. Com base nesse valor, foi estimado um fator de emissão de óxido nitroso de 0,0022, que representa 22% do fator de emissão recomendado pelo IPCC (0,01) para emissões diretas de N₂O derivadas da adição de fertilizantes nitrogenados.

DESAFIOS

- Os processos de desnitrificação e de nitrificação, mediados por microrganismos, pelos quais se origina a emissão de óxido nitroso, são influenciados por condições ambientais, como a precipitação, a temperatura e as práticas de manejo, como a fertilização, o preparo do solo, a compactação do solo, a irrigação e a drenagem. O ano de 2014 foi caracterizado por baixa pluviosidade, o que pode, em parte, explicar os baixos fluxos de N₂O obtidos. Isso demonstra a importância da mensuração contínua e da repetição de experimentos, de modo a se obter o aprimoramento das estimativas de emissões anuais de N₂O em sistemas pastoris. Os métodos micrometeorológicos são muito caros para uso no país, mas seria importante realizar estudos comparativos aos métodos tradicionais de mensuração, como o da câmara estática;
- O estudo reafirma a grande variabilidade espacial e temporal nas emissões de N₂O, o que representa um grande desafio para estimar com precisão as emissões anuais desse gás.

SOLUÇÕES

- O uso de fertilizantes nitrogenados constitui uma das fontes antrópicas diretas de emissão de N₂O. O impacto do uso de diferentes tipos e formulações de fertilizantes nitrogenados em áreas de pastagem ainda carece de estudos, e essa linha de pesquisa poderia resultar em uma estratégia potencial para mitigação de emissão de gases.

DADOS PUBLICADOS EM:

PERES, G. R. P.; LIMA, M. A. de; BATISTA, G. das G.; ANDRADE, C. A. de; HERLING, V. R.; PIOTTO, V. C.; NAREZZI, F.; FILIZOLA, H. F.; SILVA, J. A. da; FRIGHETTO, R. T. S. Nitrous oxide emission in pasture under rotational and continuous managements. In: International Symposium on Greenhouse Gases in Agriculture, 2., 2016, Campo Grande. Proceedings [...]. Brasília: Embrapa, 2016. p. 42-47. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 216).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CATI/IEA. Projeto Lupa. Dados consolidados do estado de São Paulo. 2007/2008. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/dadosestado.php>.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and systems in the south of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 82, p. 161-173, 2008.

KELLER, M.; REINERS, W. A. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, and methane under secondary succession of pasture to forest in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 8, p. 399-410, 1994.

COORDENADOR DO PROJETO

Dra. Magda Aparecida de Lima

Embrapa Meio Ambiente

e-mail: magda.lima@embrapa.br

MODELAGEM DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO DE PASTAGENS PURA DE GRAMÍNEA E CONSORCIADA DE GRAMÍNEA COM LEGUMINOSA NO OESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Falberni de Souza Costa¹; Maykel Franklin Lima Sales¹; Antônio Carlos dos Reis Freitas²; Cleberson Pereira de Souza³

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Acre; ² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cocais; ³ Universidade Federal do Acre.

A agricultura brasileira é associada com as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), e a exata contribuição das pastagens não é ainda conhecida devido ao variado grau de sua qualidade/degradação. Essas emissões podem causar eventos extremos que, em ciclo fechado de causa e efeito, podem afetar os sistemas de produção na Amazônia. Conhecer a magnitude da contribuição de sistemas pecuários nas emissões de GEE no Bioma Amazônia identifica variáveis associadas com os processos geradores e fatores de emissão, potencializando soluções tecnológicas para um balanço positivo entre as entradas e saídas de carbono no sistema de produção. As dinâmicas de nitrogênio mineral (N) no solo e as trocas de suas formas gasosas na interface solo-atmosfera são intimamente associadas com a deposição de resíduos animais (urina e fezes) na pastagem. De acordo com o conteúdo de N inorgânico no solo e o local estudado, floresta ou pastagem, e a idade da pastagem, os conteúdos de N-amônio e N-nitrato podem ser similares na floresta ou dominados por N-amônio na pastagem à medida que a sua idade avança. Além disso, as taxas médias líquidas anuais de nitrificação na superfície do solo na floresta podem ser maiores do que na pastagem sugerindo perdas potenciais maiores de N-nitrato ou por lixiviação ou emissões gasosas em solos de floresta preservada comparada com solo sob pastagem consolidada (NEILL *et al.*, 1995). Para Melillo *et al.* (2001) as emissões de óxido nitroso (N_2O) de pastagem nova ($5,0 \text{ kg N-N}_2O \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foram de duas a uma vez e meia menores do que na floresta ($9,0 \text{ kg N-N}_2O \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) durante os dois primeiros anos da pastagem, passando a um terço desses valores quando a pastagem estava com mais de três anos de idade ($1,4 \text{ kg N-N}_2O \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A magnitude do teor de nitrato na superfície do solo é um dos melhores indicadores para predição das emissões de N_2O (VERCHOT *et al.*, 1999, MELILLO *et al.*, 2001). As emissões de N_2O podem ser medidas em amostras de campo por cromatografia a gás ou estimadas por modelos baseados em processos. O modelo DNDC (Desnitrificação Decomposição) simula ciclos biogeoquímicos de carbono e nitrogênio em sistemas agrícolas (GILTRAP *et al.*, 2010). São apresentadas as emissões de N_2O estimadas pelo modelo DNDC de pastos puro de gramínea (> 30 anos de idade) e consorciado com gramínea-leguminosa (> de quatro anos após > 30 anos de idade) e do solo de uma floresta nativa no oeste da Amazônia brasileira. Na direção do conhecimento da magnitude da contribuição de sistema pecuários no Bioma Amazônia para as emissões de GEE,

estas foram monitoradas na pecuária em sistemas a pasto no Acre, oeste da Amazônia, Brasil.

As emissões de óxido nitroso (N_2O) foram estimadas pelo modelo de Desnitrificação-Decomposição (DNDC).

Os sistemas avaliados foram pastos puro de gramínea *Brachiaria humidicola* (Rendle) Scheick (G) e gramínea *B. humidicola* consorciada com amendoim forrageiro *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg cv. BRS Mandobi (GL), ambos sem fertilização. Uma floresta nativa (FN) classificada como aberta/densa de bambu foi a referência para avaliar a mudança de uso do solo de floresta nativa para pastagem. O pasto puro foi a referência para mudança de manejo da pastagem. Os sistemas avaliados têm o mesmo tipo de solo, um Argissolo Vermelho-Amarelo plintico (EMBRAPA, 2013). O experimento foi instalado em 2011 na fazenda Guaxupé ($68^\circ 05' \text{ W}$, $9^\circ 57' \text{ S}$, 200 m acima do nível do mar) em Rio Branco, Estado do Acre, Brasil. A retirada da floresta nativa do solo do experimento ocorreu em 1981.

As coletas de solo foram realizadas em G, GL e FN de fevereiro a dezembro de 2014 e de janeiro a julho de 2015 nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, as análises de solo seguiram o protocolo da Rede Pecuária.

Os resultados das análises de solo e as informações meteorológicas foram as entradas no modelo DNDC para predizer as emissões de N_2O (LI *et al.*, 1994).

RESULTADOS PRELIMINARES

- A emissão média de N_2O em 166 dias seguiu a ordem: pasto puro ($35,8 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) > floresta nativa ($28,2 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) > pasto consorciado ($27,2 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). As emissões de N_2O foram menores na transição das estações chuva-seca e seca-chuva e maiores nas estações características de chuva e de seca da Amazônia brasileira;
- As emissões de N_2O foram correlacionadas com o espaço poroso preenchido com água do solo (0-10 cm) e com a temperatura do solo (0-10 cm) nos sistemas FN, G e GL ($P < 0.05$) e não apresentaram correlação com os teores de N-nitrato do solo;

- A emissão anual de N_2O foi de $3,13 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no G, $2,47 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na FN e $2,38 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no GL. A emissão anual predita nos sistemas G, GL e FN está na faixa de emissão anual tabulada por Verchot *et al.* (1999) para floresta tropicais úmidas ($0,3$ a $6,7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e de acordo com Meurer *et al.* (2016) para pastagens;
- A emissão total de N_2O para o período avaliado foi $4,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ no G, $3,0 \text{ kg N ha}^{-1}$ na FN e $2,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ no GL (Figura 1), maiores do que aquelas citadas por Melillo *et al.* (2001) para pastos velhos, entretanto estão na faixa citada por Meurer *et al.* (2016);
- Embora na faixa das emissões de N_2O medidas na Amazônia brasileira, as emissões preditas pelo DNDC neste estudo devem ser tratadas com cuidado, visto que resultados de emissões medidas em campo ainda não estão disponíveis para o solo, as condições meteorológicas regionais e o manejo de pastagem na fazenda avaliada neste estudo.

DESAFIO

- Medir as emissões de N_2O em condições de campo para o solo, as condições meteorológicas regionais e o manejo de pastagem avaliados neste estudo.

SOLUÇÕES

- Grupos de pesquisadores consolidados na Amazônia brasileira e integrados com grupos nacionais e internacionais no tema de mudança climática;
- Laboratório no sudoeste da Amazônia brasileira com capacidade operacional contínua.

DADOS PUBLICADOS EM:

ALMEIDA *et al.* (coord.). Anais do 2º Simpósio Internacional sobre gases de efeito estufa na agropecuária. Campo Grande, MS: Embrapa gado de corte, 2016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

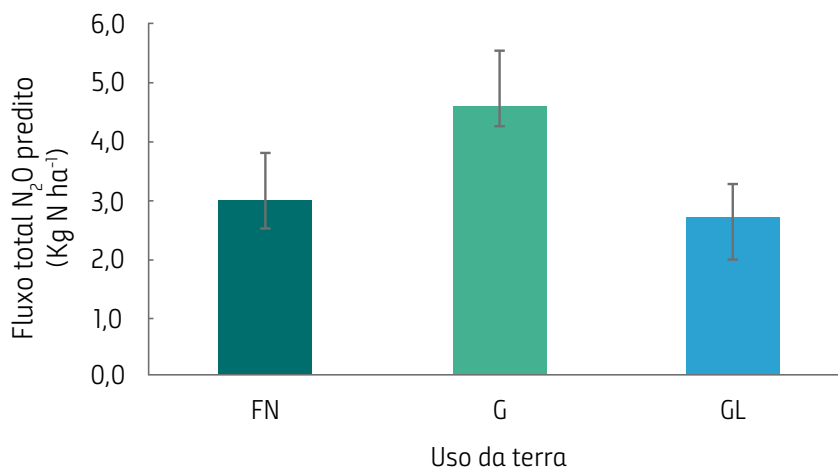
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ED. Brasília: Embrapa, 2013.

GILTRAP, D. L. *et al.* DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. *Agriculture, ecosystems and environment*, v. 136, p. 292-300, 2010.

LI, C. *et al.* Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Global biogeochem. Cycles*, N. 8, p. 237-254, 1994.

Continuação no Anexo

Figura 1: Fluxo total de N_2O predito na fazenda Guaxupé, Estado do Acre, Brasil. FN = floresta nativa. G = pasto puro de *Brachiaria humidicola* and GL = pasto consorciado de *B. humidicola* com *Arachis pintoi* cv BRS Mandobi. Valores são médias de 38 simulações de parâmetros do solo no DNDC. Barras são o desvio padrão da média.



COORDENADOR DO PROJETO

Dra. Patrícia Perondi Anchão Oliveira

Embrapa Pecuária Sudeste

e-mail: patricia.anchao-oliveira@embrapa.br

Dra. Lucieta Guerreiro Martorano

Embrapa Amazônia Oriental

e-mail: lucieta.martorano@embrapa.br

Dr. Falberni de Souza Costa

Embrapa Acre

e-mail: falberni.costa@embrapa.br

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA (NH₃) E EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) APÓS APLICAÇÃO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS EM SOLO CULTIVADO COM MILHO

Rogério Gonzatto¹; Ezequiel Cesar Carvalho Miola²; Alexandre Doneda³; Stefen Barbosa Pujol⁴; Celso Aita⁴; Sandro José Giacomini⁴

1 Office Chérifien des Phosphates; 2 Universidade Federal do Rio Grande; 3 Cooperativa Agropecuária e Industrial; 4 Universidade Federal de Santa Maria.

O Brasil se destaca entre os maiores produtores e exportadores de carne suína do mundo. Este fato reforça a importância social e econômica da suinocultura para o país. No atual sistema de produção de suínos praticado no Brasil, são gerados grandes volumes de dejetos, os quais são normalmente manejados na forma líquida. Devido ao seu elevado conteúdo de nitrogênio (N), os dejetos líquidos de suínos (DLS) podem ser utilizados como uma fonte alternativa aos fertilizantes nitrogenados sintéticos; por outro lado, a distribuição no solo também é uma forma de descarte desses resíduos.

A maior parte do N mineral presente nos DLS encontra-se na forma amoniacal, forma que é pouco estável na interface solo-atmosfera. Com a aplicação dos DLS na superfície do solo, podem ocorrer perdas de N nas formas gasosas de amônia (NH₃) e óxido nitroso (N₂O), reduzindo o seu potencial fertilizante e impactando negativamente o ambiente. Com o advento do sistema de plantio direto na palha e a expansão da suinocultura no Brasil, é cada vez mais frequente a aplicação de DLS na superfície do solo sobre os resíduos culturais. Diante desse cenário, a comunidade científica tem se organizado para estudar os efeitos da aplicação dos DLS, na presença ou na ausência de resíduos culturais na superfície do solo, sobre as emissões de gases nitrogenados.

As aplicações de fontes de N na superfície do solo potencializam as emissões de NH₃ e N₂O para atmosfera. Além disso, a magnitude dessas emissões varia em função do método, da época de aplicação, da taxa de aplicação, da composição dos dejetos, do tipo do solo e das condições ambientais. A disponibilidade de carbono (C), que aumenta com a adição dos DLS e com a presença de resíduos culturais, pode influenciar na emissão desses gases, pois as bactérias heterotróficas, responsáveis pela imobilização de N e pela desnitrificação, dependem de fontes de C e energia. Por isso, entender como os DLS aplicados ao solo interferem na magnitude das emissões de NH₃ e N₂O é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais adequadas para esse material orgânico.

O objetivo do trabalho foi avaliar as perdas de N para a atmosfera por volatilização de NH₃ e por emissão de N₂O após a aplicação de DLS no milho, com e sem a presença de resíduos culturais de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) na superfície do solo. Para a presente coletânea o foco será dado às informações e aos resultados relacionados apenas às emissões de N₂O.

O estudo foi realizado a campo, em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, na área experimental do setor de Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a 29° 41' 24" S, 53° 48' 42" W e altitude de 106 m. As emissões de N₂O foram avaliadas durante 90 dias, entre os meses de janeiro e abril de 2011, em parcelas com dimensões de 1 m x 1,6 m nos seguintes tratamentos: T1 - Solo (Testemunha); T2 - Solo + DLS (DLS); T3 - Solo + Palha de aveia-preta (Palha); T4 - Solo + Palha + DLS (Palha + DLS). Para a avaliação da volatilização de NH₃ foram utilizados somente os tratamentos "DLS", "Palha" e "Palha + DLS".

Os dejetos foram aplicados manualmente, em 19/01/2011, na dose de 60 m³ ha⁻¹, antecedendo em dois dias a semeadura do milho (híbrido Pioneer P3646). Nos tratamentos T3 e T4, a palha de aveia-preta foi adicionada ao solo na dose de 4,0 Mg ha⁻¹, a qual foi coletada no estágio de maturação fisiológica. As avaliações dos fluxos de N₂O foram realizadas segundo os procedimentos descritos por Rochette & Bertrand (2008). As coletas foram realizadas de três a quatro vezes por semana, durante os primeiros 30 dias, e, após a emissão dos tratamentos se aproximar dos níveis obtidos no T1, as coletas foram espaçadas uma a duas vezes, a cada 15 dias. A concentração de N₂O das amostras de ar coletadas foi determinada por cromatografia gasosa.

RESULTADOS PRELIMINARES

- As emissões de N-N₂O aumentaram logo após a aplicação dos DLS, principalmente quando os dejetos foram aplicados sobre os resíduos culturais de aveia-preta;

- Os maiores picos de emissão de N_2O ocorreram após as irrigações e/ou precipitações. No sétimo dia de avaliação, após uma precipitação de 40 mm, a emissão de $N-N_2O$ no tratamento Palha + DLS superou em 200% ($> 844 \mu g$ de $N-N_2O m^{-2} h^{-1}$) a emissão do tratamento apenas com DLS;
- Nos primeiros 36 dias após a aplicação dos dejetos, ocorreram 90% das emissões totais de $N-N_2O$;
- As emissões acumuladas de $N-N_2O$ variaram de 1,1 a 3,2 kg $N-N_2O ha^{-1}$ com o maior valor obtido quando a palha de aveia-preta esteve presente na superfície do solo e os DLS foram aplicados (Tabela);
- O tratamento Palha + DLS apresentou fator de emissão de 1,3% (acima do 1% preconizado pelo IPCC), enquanto, no tratamento apenas com DLS, o fator de emissão foi de 0,1% (Tabela).

DESAFIOS

- A falta de controle sobre as condições ambientais nos estudos de campo (por exemplo, precipitação, temperatura, vento, entre outras) podem incorrer em variações nas avaliações;
- A grande variedade de plantas de cobertura e a variação na qualidade/composição bioquímica de seus resíduos culturais poderão adicionar novas variáveis aos futuros estudos sobre o efeito da palha associada à aplicação de dejetos animais;

SOLUÇÕES

- A aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) sobre resíduos culturais de aveia-preta pode contribuir para o aumento das emissões de óxido nitroso para a atmosfera.

DADOS PUBLICADOS EM:

GONZATTO, R.; MIOLA, E. C. C.; DONEDA, A.; PUJOL, S. B.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. *Ciência Rural*, v. 43, n. 9, p. 1590-1596, 2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ROCHETTE, P.; BERTRAND, N. Soil-surface gas emissions. In: CARTER, M.; GREGORICH, E. G. (eds.). *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton, FL: CRC, 2008. p. 851-861.

COORDENADOR DO PROJETO

Prof. Dr. Celso Aita

Universidade Federal de Santa Maria

e-mail: celsoaita@gmail.com

Tabela: Quantidade total de nitrogênio (N) adicionada com os dejetos, emissão acumulada de N_2O e fator de emissão de N_2O após a aplicação dos dejetos líquidos de suínos (DLS) na superfície do solo com e sem palha

Tratamentos	N adicionado com os DLS	Emissão acumulada de N_2O	Fator de emissão
	kg N ha^{-1}	kg de $N-N_2O ha^{-1}$	% do N adicionado
Testemunha		1,1 b*	
DLS	160	1,3 b	0,1 b
Palha		1,1 b	
Palha + DLS	160	3,2 a	1,3 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%.

SOBRESSEMEADURA DE AZEVÉM NA SOJA PARA MITIGAR AS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO EM SISTEMA LAVOURA-PASTAGEM NO SUL DO BRASIL

Getúlio Elias Pilecco¹; Douglas Adams Weiler²; Celso Aita¹; Raquel Schmatz¹; Bruno Chaves¹; Sandro José Giacomini¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria; ² Universidade Federal de Santa Catarina.

Os sistemas integrados de lavoura-pecuária (ILP) são caracterizados pela produção de grãos, leite e carne em uma mesma área ao longo do tempo. Os sistemas ILP têm sido utilizados com sucesso em diversos ambientes climáticos. Além disso, o sucesso desses sistemas pode ser associado a uma série de benefícios agrônômicos e ambientais. Na Região Sul do Brasil, é comum o cultivo de milho ou soja no verão em rotação com azevém durante o inverno, período coincidente com a baixa produção de forragem das pastagens nativas. Se a cultura de verão é a soja, a antecipação da oferta de forragem pode ser obtida pela ressemeadura natural do azevém ou pela sobressemeadura do azevém, quando a soja está no início da maturação de grãos (estádio R7). Assim, a pastagem encontra-se em pleno desenvolvimento no momento da colheita da soja.

A presença da pastagem e o seu desenvolvimento gradual, concomitante à queda das folhas da soja, devem promover a ciclagem eficiente dos nutrientes, reduzindo as perdas gasosas de N, principalmente na forma de óxido nitroso (N_2O). Esse efeito mitigatório das emissões de N_2O pode se estender ao período pós-colheita da soja, já que a pastagem em pleno desenvolvimento vegetativo irá absorver o N mineralizado durante a decomposição dos resíduos culturais da leguminosa.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da sobressemeadura do azevém na soja em sistema ILP sobre a emissão de N_2O e a produção de forragem. O estudo foi conduzido durante dois anos agrícolas em argissolo, na área experimental do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada na cidade de Santa Maria-RS.

O experimento consistiu de dois sistemas de uso do solo em plantio direto: I. ILP com soja na primavera/verão e azevém anual no outono/inverno semeados em sobressemeadura quando a soja estava em estágio R7 (ILP-I); e II. ILP com soja na primavera/verão e azevém anual no outono/inverno semeados após a colheita da soja (ILP-II). Os fluxos de N_2O do solo foram medidos utilizando o método das câmaras estáticas durante um período de dois anos.

As emissões cumulativas de N_2O foram obtidas pela integração dos fluxos entre datas consecutivas de amostragem. Foram avaliados também a umidade gravimétrica e o conteúdo de amônio (NH_4) e de nitrato (NO_3) do solo. Na soja, foi avaliada a produtividade de grãos e, no azevém, a produção de biomassa, quando a pastagem atingia altura aproximada de 0,2 m.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Nos dois anos, foram observados poucos picos na emissão de N_2O , sendo que os maiores fluxos ocorreram no período de queda mais acentuada das folhas, após a colheita da soja e após precipitações pluviométricas intensas ou sequenciais;
- A sobressemeadura do azevém (ILP-I) reduziu as emissões anuais de N_2O , se comparadas às da semeadura do azevém após a colheita da soja (ILP-II) no primeiro ano; mas os sistemas não diferiram significativamente no segundo ano. Contudo, é importante destacar que o valor de P observado no segundo ano foi relativamente baixo para dados de N_2O em experimento de campo. Na média dos dois anos, o ILP-I reduziu as emissões de N_2O em 18,4%, comparadas às do ILP-II (Tabela);
- A queda gradual das folhas de soja, ao longo do ciclo da cultura, representa uma fonte potencial de emissão de N_2O , mas a semeadura da pastagem de inverno pode mitigar essas emissões. Os resultados deste estudo demonstram que a sobressemeadura do azevém reduz o conteúdo de NO_3^- no solo e, consequentemente, as emissões de N_2O ;
- O rendimento de grãos da soja não foi afetado pelos sistemas de produção. Nos dois anos, a sobressemeadura do azevém resultou na antecipação da oferta de forragem e, em média, resultou em 1,4 vezes mais biomassa, quando comparada à semeadura do azevém após a colheita da soja.

DESAFIOS

- Neste estudo, foram avaliadas as diferenças nos fluxos de N_2O do solo entre dois sistemas ILP e um sistema de produção de grãos. No entanto, não foram testados a presença de animais em pastejo e os possíveis efeitos de excrementos de animais (fezes e urina) nos fluxos de N_2O . A quantificação separada do N_2O originário do solo e dos excrementos de animais no solo é difícil, devido à alta variabilidade espacial e quantitativa dos excrementos no solo (SELBIE *et al.*, 2015).

SOLUÇÕES

- A sobressemeadura do azevém no estágio de maturação do grão da soja diminuiu as emissões de N_2O , em comparação com as da semeadura após a colheita de soja. Portanto, pode ser considerada como uma prática mitigadora das emissões de N_2O do solo.

DADOS PUBLICADOS EM:

PILECCO, G. E.; WEILER, D. A.; SCHMATZ, C. A.; SCHMATZ, R.; CHAVEZ, B.; GIACOMINI, S. J. Ryegrass early sowing into soybean to mitigate nitrous oxide emissions in a subtropical integrated crop-livestock system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 272, p. 276-284, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.11.006>.

COORDENADOR DO PROJETO

Prof. Dr. Sandro José Giacomini

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos

e-mail: sjgiacomini@ufsm.br

Tabela: Rendimento de grãos de soja, produção de biomassa de azevém e emissão acumulada de N_2O em sistemas integrados lavoura-pastagem com sobressemeadura de azevém (ICL-I) e semeadura de azevém após a colheita da soja (ICL-II)

Sistema	Rendimento de grãos soja		Produção de forragem azevém		Emissões cumulativas de N_2O	
	2011/12	2012/13	2012	2013	2011/12	2012/13
	Mg ha ⁻¹				g N- N_2O ha ⁻¹	
ICL-I	4,65	3,82	5,04	4,89	763,1 (18,3%)*	879,4 (18,5%)
ICL-II	4,35	3,71	2,31	4,85	934,6	1079,7
P-valor	0,53	0,85	< 0,05	0,77	< 0,05	0,10

Legenda: *Valores entre parênteses representam o percentual de redução na emissão de N_2O provocada pelo uso da sobressemeadura do azevém.

EMIÇÃO DE ÓXIDO NITROSO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO EM CLIMA SUBTROPICAL

Douglas Adams Weiler¹; Sandro José Giacomini²; Sylvie Recous³; Leonardo Mendes Bastos⁴; Getúlio Elias Pilec
Guilherme Dietrich²; Celso Aita²

1 Universidade Federal de Santa Catarina; 2 Universidade Federal de Santa Maria; 3 Institut National de la Recherche Agronomique; 4 University of Nebraska-Lincoln.

As plantas de cobertura de verão (PCV) são uma importante estratégia para atender as premissas básicas do sistema plantio direto. Em climas tropicais e subtropicais, as PCV são uma alternativa para a proteção do solo contra as chuvas de alta intensidade durante o verão. Embora sejam cultivadas no mesmo período que as espécies comerciais, as PCV também podem ser cultivadas entre a colheita das culturas comerciais de verão e a semeadura das culturas de inverno.

O cultivo dessas espécies adiciona ao solo quantidades significativas de nitrogênio (N) que podem satisfazer, parcialmente ou totalmente, a demanda por gramíneas cultivadas em sucessão, mas também pode favorecer as emissões de óxido nitroso (N_2O). Isso ocorre porque os resíduos culturais das PCV apresentam alto conteúdo de N total e de C e N solúveis em água, que favorecem a produção de N_2O nos processos de nitrificação e desnitrificação. No entanto, pouco é conhecido sobre o impacto dos resíduos das PCV sobre as emissões de N_2O . Também são pouco conhecidos os fatores de emissão em condições de campo e, principalmente, em sistemas de cultivo em plantio direto com os resíduos na superfície do solo. Assim, o objetivo deste estudo foi quantificar as emissões de N_2O e os fatores de emissão após o manejo das PCV.

O estudo foi conduzido durante dois anos na Universidade Federal de Santa Maria, no sul do Brasil. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Os tratamentos consistiram em um tratamento de pousio e de seis espécies de cobertura de verão: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), milheto (*Pennisetum americanum*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), crotalária-spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), crotalária-juncea (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). As PCV foram cultivadas no período de janeiro a abril e manejadas com rolo-faca no pleno florescimento das espécies, e a área foi cultivada com aveia-preta e aveia-branca no primeiro e no segundo ano, respectivamente. Os resíduos culturais foram caracterizados quanto aos teores de C e N totais e solúveis em água, celulose, hemicelulose e lignina. Os fluxos de N_2O foram medidos usando câmaras estáticas fechadas, duas a três vezes por semana no primeiro mês e com menor frequência no restante do

período. As amostras foram coletadas utilizando seringas de polipropileno e enviadas imediatamente para o laboratório para análise por cromatografia gasosa.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Nos dois anos, a produção de matéria seca das PCV variou de 4,4 a 12,8 Mg ha⁻¹, e o acúmulo de N, de 88 a 220 kg ha⁻¹, evidenciando a alta capacidade de produção de biomassa e de fixação biológica de N no caso das PCV leguminosas em curto período de tempo (78 e 88 dias), possibilitando seu cultivo no verão no período de intercultura (Tabela);
- As emissões de N_2O aumentaram após o manejo das PCV, especialmente nos primeiros 30 dias, período em que foram medidas 65% das emissões totais observadas. Nos dois anos avaliados, os fluxos de N_2O foram positivamente associados à fração solúvel e negativamente relacionados com a fração fibrosa dos resíduos culturais das PCV;
- As emissões cumulativas de N_2O (Tabela) variaram de 0,46 a 1,38 kg N ha⁻¹, com diferenças entre as plantas de cobertura e os anos avaliados. O guandu-anão foi a planta com cobertura verde com as menores emissões de N_2O no primeiro ano, enquanto que as demais espécies não diferiram entre si. No segundo ano, *Crotalaria spectabilis* e feijão-de-porco foram as PCV que apresentaram as maiores emissões de N_2O ;
- As emissões de N_2O não foram proporcionais à quantidade de N aplicada. Com exceção do milheto e da *Crotalaria spectabilis* no segundo ano, as demais espécies apresentaram fatores de emissão abaixo de 1%, valor preconizado pelo IPCC. Este estudo demonstrou que a inclusão de PCV em sistemas de culturas resulta em baixas emissões de N_2O .

DADOS PUBLICADOS EM:

WEILER, D. A.; GIACOMINI, S. J.; RECOUS, S. et al. Trade-off between C and N recycling and N₂O emissions of soils with summer cover crops in subtropical agrosystems. *Plant Soil*, v. 433, p. 213-225, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3831-2>.

COORDENADOR DO PROJETO

Prof. Dr. Sandro José Giacomini

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos

e-mail: sjgiacomini@ufsm.br

Tabela 1: Quantidade de N adicionado com as PCV, emissão cumulativa de N₂O e fator de emissão de N₂O após o manejo das PCV em sistema plantio direto

Planta de cobertura	N adicionado		Emissão cumulativa de N ₂ O		Fator de emissão de N ₂ O	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011§
	kg N ha ⁻¹		kg N-N ₂ O ha ⁻¹		% do N adicionado	
Mucuna-preta	91,9	88,4	0,71 a	0,79 b	0,64	0,74
Milheto	120,6	60,7	0,61 a	1,05 b*	0,39	1,5
Guandu-anão	138,4	111,6	0,46 b	1,01 b*	0,24	0,78
Crotalária-juncea	135,1	146,8	0,70 a	0,89 b	0,41	0,51
Crotalária-spectabilis	164,6	112,1	0,82 a	1,38 a*	0,42	1,11
Feijão-de-porco	219,9	149,9	0,70 a	1,15 a*	0,25	0,64
Pousio	-	88,5	0,14 c	1,01 b*	-	0,98

Legenda: * indica que os valores diferem estatisticamente entre os anos avaliados de acordo com o teste de Scott-Knott (- < 0.05); § Valores estimados assumindo que a emissão de N₂O proveniente do solo (basal) em 2011 tenha sido a mesma quantificada em 2010 no tratamento de pousio que foi mantido sem plantas.

Nota: Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-Knott (- < 0.05).

BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁRVORES DE EUCALIPTO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO PECUÁRIA

José Ricardo Macedo Pezzopane¹; Cristiam Bosi²; Alberto C. de Campos Bernardi¹; Marcelo Dias Muller³; Patrícia Perondi Anchão Oliveira¹

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Pecuária Sudeste; ² Universidade de São Paulo; ³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Gado de Leite.

A pecuária tem sido associada à emissão de gases de efeito estufa (GEE), sendo este o setor do agronegócio responsável pela maior emissão, especialmente o metano entérico. Para mitigar esse problema tem sido propostos sistemas de produção baseados em pastagens recuperadas e/ou com capacidade de aumento dos estoques de carbono (C) do solo e diminuição da pegada de C (OLIVEIRA, 2015; FIGUEIREDO *et al.*, 2017).

Nesse contexto são inseridos os sistemas de integração: lavoura pecuária (ILP) ou agropastoril, lavoura floresta (SSP) ou silvipastoril e os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril. Esses sistemas apresentam potencial de mitigação de emissão de GEE por meio das remoções de C da atmosfera e estocagem na biomassa e no solo, especialmente quando o componente arbóreo está presente (OLIVEIRA *et al.*, 2017; DUBE *et al.*, 2002; ALMEIDA *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*, 2014; SALTON *et al.*, 2014).

As árvores podem ser inseridas em pastagens já estabelecidas ou implantadas simultaneamente com a formação do pasto (sistemas silvipastoris) e também em sistemas onde o pasto é renovado ou rotacionado com lavouras (sistemas agrossilvipastoris) (BALBINO *et al.*, 2011; GIL *et al.*, 2015). O potencial de acúmulo de C pelo componente arbóreo em sistema silvipastoris ainda é pouco estudado nas condições brasileiras e depende, dentre outros fatores, da espécie, do manejo e da densidade populacional (TSUKAMOTO FILHO, 2003; GUTMAIS, 2004; OFUGI *et al.*, 2008; MULLER *et al.*, 2009).

Esta pesquisa teve como objetivo estimar o estoque de biomassa de C de árvores de *Eucalyptus urograndis* (Clone GG100) cultivadas em diferentes modelos de integração aos cinco anos de idade (Figura 1). A área experimental está localizada em São Carlos-SP, Brasil (21° 57'S, 47° 50'W, 860m alt) em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso-argiloso e clima Cwa. As árvores foram estabelecidas, em área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, em abril de 2011. Foram estabelecidos renques de fileiras simples com espaçamento de 2 metros entre plantas dentro da linha e 15 metros entre renques, totalizando uma densidade de 333 árvores por hectare. Foi utilizado um clone do híbrido *Eucalyptus urograndis* (GG 100).

O sistema de produção foi conduzido com duas áreas experimentais (repetição de área), de aproximadamente 3 ha cada, sendo utilizado o manejo rotacionado de pastagem, divididos em seis piquetes com área aproximada de 5000 m² cada e com período de ocupação de seis dias e trinta dias de descanso. Dessa maneira a área experimental continha 12 piquetes. A renovação da pastagem ocorreu em um terço de cada área por ano agrícola (2 piquetes), onde foi realizada a ressemeadura do capim simultaneamente com a cultura do milho (*Zea Mays L. var. DKR 390 PRO 2*) para produção de silagem. Dessa maneira foram estabelecidos na área experimental três sistemas de renovação que se diferenciaram entre si em relação ao tempo de plantio das árvores. Um sistema agrossilvipastoril com renovação do pasto dois anos após o plantio das árvores (ILPF-2), um sistema agrossilvipastoril com renovação do pasto no terceiro ano após o plantio das árvores (ILPF-3) e um sistema silvipastoril onde no momento da avaliação das árvores a pastagem ainda não tinha sido renovada (SSP).

RESULTADOS PRELIMINARES

- Foram geradas equações de estimativa de volume de madeira e de biomassa do componente arbóreo em sistemas de integração lavoura pecuária floresta;
- Após cinco anos de implantação dos sistemas, a variação de acúmulo de volume por ano nos sistemas analisados nesse trabalho variou entre 26,4 (SSP) a 31,2 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (ILPF-2). Quando avaliada a produção de biomassa somente pelo fuste das árvores, as variações foram de 11,4 (SSP) a 13,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (ILPF-2);
- Com relação aos estoques de C no fuste, os dados obtidos nesse trabalho (*E. urograndis*) equivalem a um acúmulo de carbono de 5,2 (SSP) a 6,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (ILPF-2);
- O projeto é de longa duração e novas amostragens serão realizadas com 8 e 12 anos de implantação dos sistemas integrados.

DESAFIOS

- Fornecer dados sobre o potencial de produção e de estoque de C na biomassa de árvores dos sistemas integrados;
- Com base na produção das árvores e dos demais integrantes dos sistemas, promover o estabelecimento de planos de manejo do componente arbóreo para manutenção do equilíbrio produtivo e benefícios ambientais dos sistemas integrados com a presença de árvores;
- Apoiar a formulação de políticas públicas.

SOLUÇÕES

- Os resultados obtidos até a avaliação permitiram o estabelecimento de equações de estimativa de volume e biomassa de árvores em sistemas de integração lavoura pecuária floresta a partir de medições simples de diâmetro a 1,3 m de altura (DAP) e altura de árvores;
- O modelo de sistema com renovação do pasto no segundo ano de implantação proporcionou os maiores valores de produção de madeira, biomassa e C aos 5 anos de idade de implantação do sistema;
- A quantidade de C estocado no fuste das árvores irá contribuir para a mitigação da emissão dos GEE.

DADOS PUBLICADOS EM:

OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; MÉO FILHO, P.; BERNDT, A.; PEDROSO, A. de F.; BERNARDI, A. C. C. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: JAMHOUR, J.; ASSMANN, T. S. (org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. v. 1, p. 23-32. (Palestras: intensificação com sustentabilidade).

PEZZOPANE, J. R. M.; BOSI, C.; BERNARDI, A. C. C.; MULLER, M. D.; OLIVEIRA, P. P. A. Biomass and carbon pools of Eucalyptus trees in integrated crop-livestock-forest systems. In: EUCALYPTUS 2018 – MANAGING EUCALYPTUS PLANTATIONS UNDER GLOBAL CHANGES, 2018, Montpellier. Abstracts book [...]. Montpellier: Cirad, 2018. v. 1. p. 37.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALMEIDA, R. G.; OLIVEIRA, P. P. A.; MACEDO, M. C. M.; PEZZOPANE, J. R. M. Recuperação de pastagens degradadas e impactos da pecuária na emissão de gases de efeito estufa. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MELHORAMENTO DE FORRAGEIRAS, 3., 2011, Bonito, MS. Anais [...]. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2011. p. 384-400.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura pecuária floresta no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, p. ixii, 2011.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNHOUS, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. Agric. Ecosyst. Environ., v. 183, p. 167-175, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.014>.

DUBE, F.; COUTO, L.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; GARCÍA, R.; ARAÚJO, G. A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. Agrofor. Syst., v. 55, n. 1, p. 73-80, 2002.

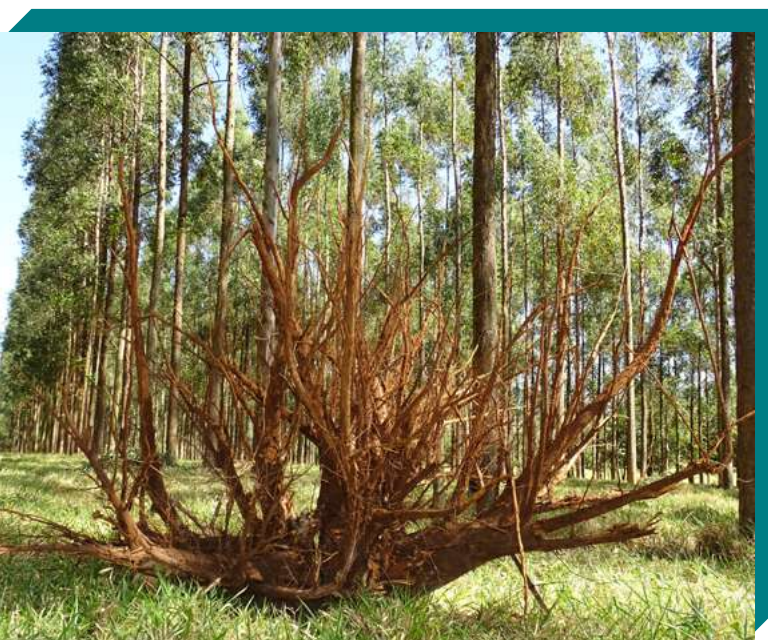


Figura: Avaliação das raízes de eucalipto em sistema ILPF para quantificação de biomassa e estoque de carbono.

Crédito: José Ricardo Macedo Pezzopane.

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane

Embrapa Pecuária Sudeste

e-mail: jose.pezzopane@embrapa.br

Dr. Alberto Carlos de Capos Bernardi

Embrapa Pecuária Sudeste

e-mail: alberto.bernardi@embrapa.br

Dra. Patrícia Perondi Anchão

Embrapa Pecuária Sudeste

e-mail: patricia.anchao-oliveira@embrapa.br

BALANÇO DE CARBONO EM PROPRIEDADES RURAIS COM PLANTIO AGROSSILVIPASTORIL

Laércio Antônio Gonçalves Jacovine¹; Siluio Nolasco de Oliveira Neto¹; Carlos Moreira Miquelino Eleta Torres¹; Bruno Leão Said Schettini¹; Paulo Henrique Villanova¹; Samuel José Silva Soares da Rocha¹

¹ Universidade Federal de Viçosa

O Brasil tem adotado diversas medidas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente na área agropecuária, que é uma importante fonte emissora desses gases. Uma destas medidas é o Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), em que são incentivadas as tecnologias que contribuam para a minimização das emissões de GEE pelo país. Entre as tecnologias previstas no Plano ABC, têm-se os sistemas agroflorestais (SAFs), que integram as culturas agrícolas, os animais e as árvores. Como esse tipo de atividade é recente no país e foram estabelecidas estimativas prévias sobre a contribuição desses sistemas na diminuição das emissões e no aumento da remoção dos GEE, é necessário realizar estudos de monitoramento, de forma a aprimorar os valores utilizados. Dessa maneira, objetivou-se, com os estudos, avaliar o balanço de carbono em diferentes sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris (SSP).

No trabalho de Torres *et al.* (2017), objetivou-se estimar as emissões de GEE e carbono acima do solo em quatro diferentes sistemas, em Viçosa-MG.

Três diferentes sistemas foram estabelecidos em uma pequena propriedade rural: sistema 1: milho (*Zea mays*) + pastagem (*Brachiaria decumbens*) + eucalipto (*Eucalyptus saligna*); sistema 2: feijão (*Phaseolus vulgaris*) + pastagem (*Brachiaria decumbens*) + eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*); sistema 3: pastagem (*Brachiaria decumbens*) + eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*).

Um quarto sistema foi estabelecido em uma outra propriedade rural, também em Viçosa: sistema 4: pastagem (*Brachiaria decumbens*) + eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*).

Foram calculadas as emissões da produção, do estoque e do transporte de agroquímicos (pre-farm) e das atividades dentro da fazenda (on-farm), como a adubação, a fermentação entérica, o manejo de dejetos e o maquinário. As emissões pre-farm foram calculadas usando os fatores de emissão reportados por LAL (2004). Já as emissões on-farm foram calculadas com a metodologia do IPCC (2006). Em todos os sistemas se quantificou o carbono acima do solo para o plantio florestal e para as gramineas,

utilizando-se o método direto ou destrutivo (SOARES *et al.*, 2011) (Figura).

No trabalho de Castro Neto *et al.* (2017), o objetivo foi avaliar a contribuição de dois SAFs para a redução da concentração de GEE na atmosfera. O estudo foi conduzido em uma propriedade no município de Viçosa-MG. Foram avaliados dois sistemas agroflorestais implantados em dezembro de 2008. Um sistema agrossilvipastoril é composto por eucalipto + feijão + braquiária. O outro, um sistema silvipastoril, é composto por eucalipto + braquiária. O componente florestal foi plantado no espaçamento de 8 m entre linhas e 3 m entre plantas. Nas unidades, empregou-se o método indireto para quantificação da biomassa do componente florestal. Para a pastagem, a biomassa foi estimada pelo método direto. As emissões de GEE foram oriundas das atividades agrícolas (adubação nitrogenada) e pecuárias (fermentação entérica e manejo de dejetos). As emissões de GEE foram estimadas com base nas diretrizes do IPCC para inventários nacionais de gases de efeito estufa (IPCC, 2006).

No trabalho de Schettini *et al.* (2017), o objetivo foi avaliar o balanço de carbono em um sistema silvipastoril, com pecuária leiteira semi-intensiva, em Visconde do Rio Branco-MG. O estudo foi conduzido em um SSP de 4,76 ha, implantado em janeiro de 2010. O componente arbóreo do sistema silvipastoril é um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantado no espaçamento de 10 m x 3 m. A pastagem era composta por *Brachiaria decumbens*, já existente no local antes da implantação do SSP, e, por esse motivo, não entrou no cálculo do balanço de carbono. O componente florestal foi implantado no espaçamento de 10 m entre linhas e 3 m entre plantas. O inventário florestal foi do tipo censo. O método indireto foi utilizado para a quantificação da biomassa do componente florestal. Para a pastagem, a biomassa foi estimada pelo método direto. As emissões de GEE foram oriundas das atividades agrícolas (adubação nitrogenada e calagem), pecuárias, da energia elétrica e dos combustíveis fósseis. As emissões foram estimadas com base nas diretrizes do IPCC para inventários nacionais de gases de efeito estufa (IPCC, 2006) e nos fatores de emissão do MCTI (MCTI, 2010).

No trabalho de Brianezi (2015), o objetivo foi avaliar a contribuição de cinco SSP na redução da concentração de GEE na atmosfera. O estudo foi conduzido em duas propriedades rurais no município de Porto Firme-MG. Foram avaliados quatro sistemas agroflorestais implantados em dezembro de 2006 e um em janeiro de 2009. Os cinco sistemas são compostos por eucalipto + braquiária. O componente florestal foi implantado, nos SSP de 2006, em espaçamento de 6 m entre linhas e 4 m entre plantas e em espaçamento de 8 m entre linhas e 4 m entre plantas para o SSP de 2009. O inventário florestal foi do tipo censo. O método indireto foi utilizado para a quantificação da biomassa do componente florestal. A pastagem não foi avaliada nesse trabalho. As emissões de GEE foram oriundas das atividades agrícolas (adubação nitrogenada e calagem) e pecuárias. As emissões foram estimadas com base nas diretrizes do IPCC para inventários nacionais de gases de efeito estufa (IPCC, 2006) e nos fatores de emissão do MCTI (MCTI, 2010).

RESULTADOS PRELIMINARES

- Foram geradas equações de estimativa de volume de madeira e de biomassa do componente arbóreo em sistemas de integração lavoura pecuária floresta;
- Após cinco anos de implantação dos sistemas, a variação de acúmulo de volume por ano nos sistemas analisados nesse trabalho variou entre 26,4 (SSP) a 31,2 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (ILPF-2). Quando avaliada a produção de biomassa somente pelo fuste das árvores, as variações foram de 11,4 (SSP) a 13,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (ILPF-2);
- Com relação aos estoques de C no fuste, os dados obtidos nesse trabalho (*E. urograndis*) equivalem a um acúmulo de carbono de 5,2 (SSP) a 6,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (ILPF-2);
- O projeto é de longa duração e novas amostragens serão realizadas com 8 e 12 anos de implantação dos sistemas integrados.

DESAFIOS

- É necessária a elaboração de fatores de emissão para gado e culturas agrícolas específicos para os sistemas agroflorestais, demonstrando que esses tipos de sistemas podem diminuir as emissões para esses componentes
- É necessário encontrar os arranjos mais adequados para a alocação de espécies de árvores no sistema silvipastoril, de forma a se obter o balanço de carbono mais favorável ao clima

- É necessário avaliar a viabilidade econômica dos sistemas silvipastoris, em virtude dos maiores custos de produção, quando comparados aos sistemas tradicionais de cultivo;
- O desafio é a expansão dos estudos para verificar o potencial máximo de produtividade de produto agrícola, de leite e de carne em sistemas agroflorestais, de forma a reduzir ao máximo a emissão de GEE e aumentar ao máximo a remoção de carbono.

SOLUÇÕES

- Um sistema silvipastoril bem manejado pode resultar em valores de estocagem de carbono maiores que os estabelecidos, inicialmente, para cumprimentos das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC);
- Os sistemas agroflorestais mais intensivos em insumos, mas que resultam em maior produtividade de leite ou carne por cabeça de gado, resultam em menor emissão de GEE por unidade produzida.

DADOS PUBLICADOS EM:

TORRES, C. M. M. E. et al. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. Scientific Reports, v. 7, p. 1-7, 2017.

VILLANOVA, P. H. et al. Accumulation of carbon and age of thinning of the tree component in agroforestry systems. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 13, p. 1-6, 2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: MCTI, 2010.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. Dendrometria e inventário florestal. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

Continuação no Anexo

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dr. Laércio Antônio Gonçalves Jacovine

Universidade Federal de Viçosa

e-mail: jacovine@ufv.br

EMIÇÃO DE CO₂ E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS E FLORESTAS PLANTADAS NA REGIÃO DO CERRADO DO MATO GROSSO DO SUL

Alan Rodrigo Panosso¹; Newton La Scala Júnior¹; Jean Carlos de Almeida Ramos¹

¹ Universidade Estadual Paulista

O Brasil, por ser um país, em sua essência, agrícola, tem cerca de 70% das emissões de CO₂ provenientes de atividades agrícolas. Assim sendo, a conversão de áreas de vegetação nativa para áreas agricultáveis promove uma significativa mudança no padrão temporal da perda de carbono do solo, via emissão de CO₂ do solo (FCO₂) (KAUFFMAN *et al.*, 1995; DIAS-FILHO *et al.*, 2001; GALFORD *et al.*, 2013). Portanto, a hipótese deste trabalho é que diferentes usos do solo nas atividades agrícolas causam alterações não somente nos estoques de carbono no solo, mas também na qualidade desse carbono, alterando assim as relações e os padrões temporais de emissão de CO₂.

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência dos usos: cerrado nativo (CE), floresta de eucalipto (EU), floresta de pinus (PI) e sistema silvopastoril (SI, braquiária consorciada com aroeira vermelha), sobre a dinâmica da emissão de CO₂, bem como sua relação com o grau de humificação da matéria orgânica e o estoque de carbono de um latossolo na região do Cerrado sul-matogrossense.

Todas as áreas experimentais utilizadas neste estudo são pertencentes à Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS. As emissões de CO₂ do solo (FCO₂) foram medidas usando o sistema LI-COR (LI-8100). A temperatura do solo foi monitorada simultaneamente com um sensor de temperatura que é parte integrante do sistema LI-8100. A umidade do solo foi determinada por meio da Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM.

A determinação da captura de O₂ (FO2) pelo solo foi realizada usando o sistema de fluxo de UV a 25%, o qual é adaptado a um microcomputador com software (Gaslab). As seguintes análises de rotina foram realizadas: potencial hidrogeniônico (pH), determinação do teor de matéria orgânica do solo (MO) (RAIJ *et al.*, 1987), fósforo disponível (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB) e acidez potencial (H+Al).

Os teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis e fósforo disponível foram extraídos utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ, 2001); a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por base (V%) também foram calculados, conforme Embrapa (1997). Os estoques de carbono (EC) foram ajustados para as mudanças na densidade do solo (Ds) que ocorrem após a mudança no

uso da terra (MUT) nas áreas. Para isso, foi utilizada a metodologia descrita por Ellert e Bettany (1995) para corrigir os estoques de carbono do solo em uma profundidade de massa equivalente. A densidade do solo foi determinada em amostras indeformadas coletadas com amostrador adaptado a cilindros, com dimensões médias de 5,0 cm de diâmetro interno e 4,0 cm de altura (EMBRAPA, 2011). O volume total de poros foi calculado com base no valor de densidade. Para a determinação do grau de humificação da matéria orgânica do solo (HLIFS), foram utilizadas as análises de fluorescência induzida por laser (LIFS), segundo proposto por Milori *et al.* (2006).

RESULTADOS PRELIMINARES

- Os valores médios obtidos de emissão de carbono (FCO₂) durante o período total diferiram significativamente para cada sistema de produção estudado. A área de PI e SI foram os manejos que apresentaram as menores médias do período (2,98 μmol m⁻² s⁻¹ e 3,22 μmol m⁻² s⁻¹, respectivamente), demonstrando um contraste com a área de cerrado nativo (CE), que apresentou a maior emissão (4,55 μmol m⁻² s⁻¹) durante o mesmo intervalo de avaliação;
- As médias de absorção de O₂ (FO2) do solo apresentaram variações, sendo que elas diferiram significativamente para o PI, que apresentou a menor média de absorção de O₂ durante todo o período estudado (0,15 mg m⁻² s⁻¹);
- Quanto ao estoque de carbono (EC) na camada de 0,0 a 0,1m, o CE proporcionou um maior EC (21,57 t ha⁻¹), seguido do SI (21,34 t ha⁻¹), da EU (20,67 t ha⁻¹), e da PI (13,91 t ha⁻¹), respectivamente. Nas demais profundidades, o SI exibiu os maiores teores de EC, sempre seguido do CE, da EU e da PI;
- Os valores da constante k indicam que, no solo do CE, da EU e da PI, o carbono foi decomposto mais rapidamente, quando comparados com o do SI; ou seja, o tempo de permanência do carbono lábil nesses sistemas foi menor;
- Em todas as profundidades, o maior índice de HLIFS foi verificado na PI. Na EU, foi encontrado um valor intermediário entre o manejo com maior HLIFS (PI) e

com os tratamentos com menores valores de HLIFS (CE e SI). Esse resultado evidencia que o SI, por integrar duas culturas em uma mesma área, promove o acúmulo maior de material orgânico lábil, portanto, é menos humificado. Em relação às profundidades, o HLIFS foi maior à medida que se distanciou da superfície do solo;

- Apesar das baixas relações observadas, houve uma tendência de diminuição da emissão de $C-CO_2$ à medida que se aumentava o HLIFS. Isso foi ainda mais pronunciado nas primeiras camadas, que é onde ocorre a maior atividade microbiana do solo;
- Nas análises de correlação linear de Pearson, foram estudados os atributos de F_{O2} – Temperatura (Ts) e Umidade (Us) – e sua relação com a variável FCO_2 . Os resultados mostraram que, para a EU, a variável FCO_2 apresentou correlações positivas com Ts ($r = 0,70$, $p < 0,05$) e Us ($r=0,30$, $p < 0,05$), sendo esta última correlação considerada média – em uma escala que considera de 0,10 a 0,29 como fraca, de 30 a 50 como média e acima desse valor, interpreta-se como grandes correlações. Esses valores de correlação encontrados entre a Us e a FCO_2 corroboram o que autores como Pinto Junior et al. (2009) observaram em florestas de transição entre Amazônia e Cerrado e em áreas de pastagens. No CE, as relações entre Ts ($r = 0,80$, $p < 0,05$) encontradas são consideradas altas pelo método de classificação, enquanto que, para Us, a correlação não foi significativa. Em PI, a FCO_2 se correlacionou positivamente com Ts ($r = 0,57$, $p < 0,05$) e Us ($r = 0,62$, $p < 0,05$). No SI, foram observadas uma alta correlação positiva entre Ts ($r = 0,78$, $p < 0,05$) e uma baixa correlação positiva para Us ($r = 0,24$, $p < 0,05$).

DESAFIOS

- Atividade agrícola no país tem um papel fundamental na mitigação de GEE, ou seja, a agricultura, que hoje é uma das atividades que mais emitem CO_2 , poderá, se adotado o manejo correto do solo, tornar-se uma das grandes aliadas na função de atuar como sumidouro de carbono e, conseqüentemente, produzir mais e de forma sustentável;
- O sistema produtivo, para se adequar a essas condições, precisa possuir algumas características físicas, químicas e biológicas do solo para se enquadrar em um sistema que promove o sumidouro de carbono da atmosfera. Entre as diversas características, estão: menores emissões de CO_2 do solo maior teor de estoque de carbono no solo, além de esse carbono estar em condição de facilmente ser decomponível. De acordo com os estudos conduzidos por esse projeto, o sistema lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é um manejo com um enorme potencial de utilização, pois promove a integração

de animais, plantas forrageiras e árvores em um mesmo ambiente (GARCIA; COUTO, 1997). Os desafios, portanto, serão inúmeros e deverão envolver os governos, a sociedade e os agricultores.

SOLUÇÕES

- Sistemas de manejo conservacionistas, como os silvipastoris, apresentam atributos do solo favoráveis à manutenção do carbono no solo, devido à sua baixa FCO_2 , constituindo assim um sistema indicado para a captura e o armazenamento de carbono e, conseqüentemente, para a mitigação do efeito estufa adicional.

DADOS PUBLICADOS EM:

RAMOS, J. C. A. Emissão de CO_2 , quantidade e qualidade do carbono do solo em sistemas agrícolas na região do Cerrado do Mato Grosso do Sul. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2018. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/154949/ramos_jca_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- DIAS FILHO, M. B.; DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability. In: McCLAIN, M. E.; VICTORIA, R.; RICHEY, J. E. (ed.). The biogeochemistry of the amazon basin. Oxford: Oxford University Press, 2001. p. 84-105.
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 212p, 1997.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 230, 2011.
- GALFORD, G. L.; SOARES FILHO, B.; CERRI, C. E. Prospects for land-use sustainability on the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. Philosophical Transactions of the Royal Society B, London, v. 368, n. 1619, p. 20120171, 2013.
- GARCIA, R.; COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. In: International Symposium on Animal Production under Grazing, 1997, Viçosa. Anais [...]. Viçosa: [s. n.], 1977. p. 281-302.

Continuação no Anexo

COORDENADOR DO PROJETO

Dr. Alan Rodrigo Panosso

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

e-mail: alan.panosso@unesp.br

Dr. Newton La Scala Júnior

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

e-mail: la.scala@fcau.unesp.br

EMISSIONES DE N₂O, AUMENTO DO NITROGÊNIO E REDUÇÃO DO CARBONO NO SOLO ATRAVÉS DE MANEJO ORGÂNICO EM POMAR DE CITROS

Andréa Sibila Bisca Escanhoela¹; Leonardo Machado Pitombo¹; Carolina Braga Brandani¹; Acácio Aparecido Navarrete¹; Camila Bonfarini Bento¹; Débora Zumkeller Sabonaro¹; Janaina Braga do Carmo¹

¹ Universidade Federal de São Carlos

Devido à necessidade de avaliar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do solo sob diferentes sistemas de manejo e de estabelecer métodos de mitigação de GEE em pomares de citros, o presente estudo foi desenvolvido para verificar a capacidade de um sistema de manejo orgânico, contribuindo com o sequestro de carbono, e para quantificar as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O no solo utilizado na produção de laranja no estado de São Paulo, Brasil, com adubação orgânica e convencional. As emissões foram medidas durante duas aplicações consecutivas no solo com fertilizantes orgânicos e inorgânicos.

O uso da matéria orgânica é importante para a sustentabilidade da agricultura orgânica, principalmente devido à ciclagem de nutrientes e às emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. O manejo orgânico foi sugerido no início para avaliar a viabilidade de substituir o sistema de manejo convencional em toda a área de produção.

A hipótese foi de que os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) em um sistema de manejo orgânico são maiores que os estoques em solos de sistema de manejo convencional. Para esse fim, utilizou-se uma floresta nativa como referência, a fim de avaliar o estoque e a composição isotópica estável de carbono e nitrogênio no perfil do solo (profundidade de 0 a 100 cm). Foi avaliada também a hipótese de aumento das emissões de GEE em caso de aplicação de fertilizante orgânico, em comparação à aplicação de fertilizante inorgânico em pomares de laranja.

O estudo foi realizado em uma fazenda comercial cultivada com pomares de laranja (*Citrus sinensis*), localizada no município de Sorocaba-SP (23° 34'-35,76"-S, 47° 30'-58,95"-W). Um fragmento adjacente sazonal da floresta semidecidual foi usado como referência para os estoques de C e N e suas razões isotópicas estáveis. O fragmento florestal possui composição florística representada principalmente por espécies pertencentes às famílias: *Lecythidaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Malvaceae*, *Lauraceae*, *Arecaceae* e *Rutaceae*. A conversão da floresta para o pomar de citros foi realizada 42 anos antes da instalação do experimento e, desde a conversão, os pomares foram replantados aproximadamente a cada dez anos.

Os pomares tiveram o mesmo histórico de manejo do solo até a conversão do manejo convencional para o orgânico. Essa conversão ocorreu concomitantemente nos dois pomares replantados, seis anos antes das medições. A irrigação não foi realizada durante o plantio de mudas nem durante todas as décadas de cultivo de citros. O espaçamento entre as plantas foi de 7 m x 3,5 m. As plantas em crescimento na linha média pertenciam predominantemente ao gênero *Brachiaria*. O corte da linha média foi realizado uma vez por ano nos dois pomares, durante o inverno, para facilitar a circulação e a colheita pelas máquinas e controlar a incidência de espécies não gramíneas.

A produção média de laranja foi, respectivamente, de 9,9 t ha⁻¹ e 23,3 t ha⁻¹ nos sistemas de manejo orgânico e convencional. Neste trabalho, agricultura orgânica é sinônimo de agricultura biológica, o que inclui não apenas fontes de nutrientes, mas também métodos de controle de pragas. O manejo orgânico foi utilizado no início para avaliar a viabilidade de substituir o sistema de manejo convencional em toda a área de produção. No entanto, a área de produção orgânica foi apenas utilizada parcialmente, com um pomar orgânico isolado na fazenda, a fim de minimizar o efeito de fronteira. As áreas com declividade semelhante (<10%) dentro dos locais foram selecionadas para a amostragem de solo e gases, a fim de diminuir o impacto da heterogeneidade do campo.

RESULTADOS PRELIMINARES

- A agricultura orgânica não promoveu o sequestro de C após seis anos de manejo, embora o manejo convencional e o orgânico melhorassem os estoques de C do solo, quando comparados aos da floresta nativa. No entanto, os resultados do solo sugerem um pequeno balanço positivo de C durante o sexto ano de manejo orgânico (1%), podendo representar um sequestro significativo de C, após um longo período de manejo. O sistema orgânico alterou a rotação da matéria orgânica do solo, ao longo do perfil de 0 a 100 cm, e aumentou o estoque de N do solo;

- A hipótese de que os estoques de C e N, em um sistema de manejo orgânico, seriam maiores em relação aos solos no sistema de manejo convencional foi parcialmente confirmada, com base no aumento do estoque de N, mas não no teor de C, com alterações das composições de isótopos C e N, no perfil de solo de 0 a 100 cm, após seis anos de manejo orgânico. Notavelmente, após seis anos de manejo orgânico, houve mudanças significativas nos níveis C e N nas composições isotópicas. Os citros são plantas C3, enquanto que as gramíneas (*Brachiaria*) cresceram predominantemente em C4. O efeito dessas gramíneas na composição do isótopo C foi observado na profundidade de 0 a 30 cm. Essa mudança ocorreu durante os 42 anos em que a floresta foi substituída pelos pomares de citros. Por outro lado, o sistema orgânico influenciou a composição dos isótopos em todo o perfil (0 a 100 cm), durante seis anos de manejo orgânico;
- Com base nos resultados, estima-se que a parcela de C das plantas C3 e C4, apresentadas durante seis anos de manejo orgânico, resultou em um aumento de pelo menos 20% de C em todo o perfil do solo analisado. Assume-se que, neste estudo, a estimativa foi subestimada, porque a base da alimentação de aves foi composta apenas por plantas C4. No entanto, não foram observados o aumento nos estoques de C, o que reforçou a ocorrência de efeito primário, mineralizando o carbono orgânico do solo, e a substituição com o C derivado do fertilizante;
- A hipótese de que a aplicação de fertilizante orgânico aumentaria as emissões de GEE, em comparação com a aplicação de fertilizante inorgânico em solos cultivados com laranja, foi apoiada com base no aumento das emissões de GEE do solo, sob agricultura orgânica, principalmente as emissões de N₂O;
- Conclui-se que o manejo orgânico não promoveu o sequestro de C após seis anos de manejo. Além disso, o manejo orgânico aumentou as emissões de N₂O, e o balanço de GEE apresentou melhores respostas para a agricultura convencional na determinação da relação entre colheita e emissões.

DESAFIOS

- Os resultados deste estudo devem ser considerados juntamente com outros benefícios potenciais da agricultura orgânica, como o bem-estar social e a manutenção da biodiversidade do agroecossistema, contribuindo, dessa forma, para a tomada de decisão no manejo a ser adotado na produção de alimentos..

SOLUÇÕES

- Os resultados deste estudo devem ajudar não apenas a validar as estimativas disponíveis de emissões de gases da produção de citros brasileira, mas também avaliar as práticas de manejo a serem adotadas;
- Os resultados deste estudo contribuem para estimativas mais precisas das emissões de gases de efeito estufa primários de pomares de citros e fornecem uma melhor compreensão da ciclagem de C e N no solo, contribuindo, dessa forma, para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis em regiões tropicais.

DADOS PUBLICADOS EM:

ESCANHOELA, A. S. B. et al. Organic management increases soil nitrogen but not carbon content in a tropical citrus orchard with pronounced N₂O emissions. *Journal of Environmental Management*, v. 234, n. 15, p. 326-335, 2019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.*, v. 10, p. 423-436, 2000.

DADOS PESSOAIS DOS COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Janaina Braga do Carmo

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade (CCTS)

e-mail: jbcarmo2008@gmail.com

ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SOLO EM ÁREA DE CAMPO NATIVO DO BIOMA PAMPA

Leandro Bochi da Silva Volk¹; José Pedro Pereira Trindade¹; Teresa Cristina Moraes Genro¹

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Pecuária Sul

Mais de 50% do rebanho bovino do Rio Grande do Sul, e quase a totalidade do rebanho ovino, ainda é criado em campo nativo – vegetação natural campestre característica do bioma Pampa. Este bioma representa cerca de 63% do território do Rio Grande do Sul, sendo responsável pela manutenção e produção do rebanho gaúcho. Contudo, a vegetação natural campestre também ocorre em áreas significativas dos biomas Pantanal, Mata Atlântica e Cerrado. Esse campo nativo, mesmo quando manejado com pecuária, é ambientalmente multifuncional e entrega inúmeras funções ecológicas. É dessa característica que vem seu potencial de aporte para a conservação dos recursos naturais (solo, água e biodiversidade), diferenciação de produtos, prestação de serviços ecossistêmicos e adaptação às mudanças climáticas. Outro ponto importante é o fato que o Decreto Estadual nº 52.431 de 2015 que regulamenta o uso de Reserva Legal no Cadastro Ambiental Rural para o bioma Pampa, permite o uso pecuário das áreas campestres e integrantes da Reserva Legal das propriedades. Deste modo, o grupo de pesquisa da Embrapa Pecuária Sul vem colocando esforço para definir manejos que mantenham a proteção desta vegetação de acordo com a legislação ambiental, ao mesmo tempo que entrega para a sociedade um sem número de serviços ecossistêmicos (como o sequestro de carbono e nitrogênio no solo e a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa) e garante a atividade pecuária e renda ao produtor. Para tal, esse grupo de pesquisa conduziu atividades não só de caracterização do estoque de carbono e nitrogênio orgânico e a emissão de gases de efeito estufa (GEE) do solo, mas também de entender como eles se relacionam com a vegetação e o manejo dos animais. As avaliações das emissões de gases do solo foram feitas entre 2014 e 2015, em área de campo nativo com novilhos da raça Hereford em três níveis de intensificação: pastagem natural (PN), pastagem natural fertilizada (PNA) e pastagem natural fertilizada e sobressemeada com azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*; PNM). As avaliações de estoque de carbono e nitrogênio orgânico do solo foram feitas em 2015, na mesma área citada anteriormente, até a profundidade de 50 cm, seguindo a metodologia padronizada aos integrantes do projeto PECUS. Ainda com o intuito de entender a relação solo-planta-animal que se estabelece nesse sistema natural em uso com pecuária, também foram feitas avaliações físico-químicas do solo e de massa de raízes das plantas. Valiosos resultados

já foram alcançados e disponibilizados à comunidade científica e aos produtores, mas muito ainda tem para ser feito e investigado.

RESULTADOS

- O estoque de carbono orgânico no solo (sem considerar a vegetação e suas raízes) variou entre 90 e 120 t/ha, considerando a profundidade de 0 a 50 cm;
- Encontrou-se relação positiva e significativa entre o estoque de carbono e de nitrogênio no solo com a massa de raízes, indicando que o correto manejo do pastejo dos animais conduz ao aumento da produção de raízes e ao aumento do estoque de Corg e de Norg;
- A maior diversidade da composição botânica está positivamente relacionada com o maior estoque de Corg no solo;
- O CO₂ foi o principal GEE emitido, contudo com valores muito baixos (oscilando entre 0 e 250 g C/ha/dia), sendo no outono/inverno com taxa média de 25 g C/ha/dia e na primavera verão com taxa média de 100 g C/ha/dia);
- A emissão de gases de efeito estufa oscilaram ao longo do ano, demonstrando forte dependência de fatores climáticos (chuva e temperatura, principalmente);
- A emissão de N₂O foi muito baixa (cerca de 63 g N₂O/ha num período de 30 dias), sendo percebida apenas nas áreas que receberam adubação nitrogenada (cerca de 180 g N₂O/ha num período de 30 dias após a adubação).

DESAFIOS

- O imageamento das áreas e da vegetação com o uso de drones tem bom potencial de estimativa do estoque de carbono no solo;
- O uso de sensores no solo e o acúmulo de grande quantidade de dados, além de ser fundamental para a pecuária de precisão, pode nos ajudar a entender melhor a relação solo-planta-animal que regula o funcionamento desses sistemas naturais com pecuária;
- A relação entre a estrutura da vegetação e seu impacto no estoque de carbono e de nitrogênio ainda precisa ser melhor estudada;
- O balanço de C nesse tipo de sistema é mais complexo do que em sistemas agrícolas e depende de mais fatores de emissão que ainda não foram avaliados.

SOLUÇÕES

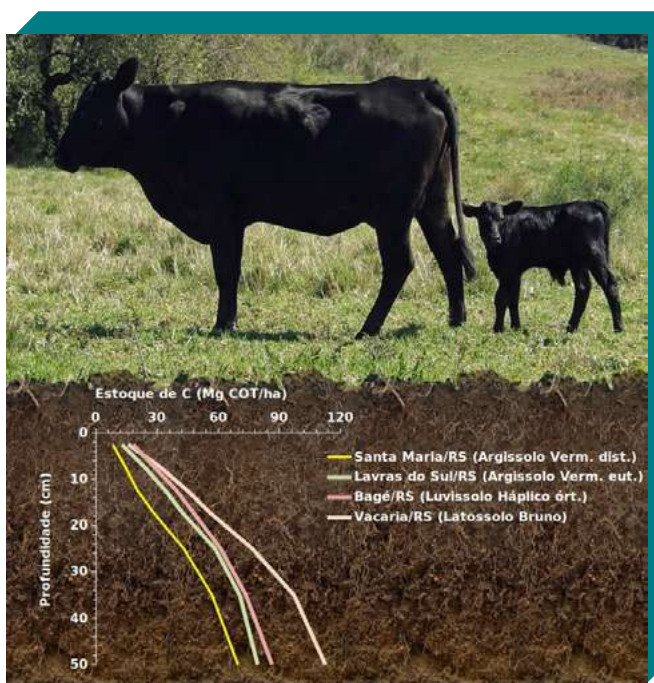
- Recomendações de práticas de manejo para os produtores, visando a manutenção do estoque de Corg e de Norg e manutenção da resiliência dos campos têm sido amplamente difundidas em ferramentas de transferência de tecnologia.

DADOS PUBLICADOS EM:

VOLK, L. B. da S.; GENRO, T. C. M.; TRINDADE, J. P. P. Nitrous oxide emissions from soil of natural grassland under different intensifications in Pampa biome. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES IN AGRICULTURE, 2., 2016, Campo Grande, MS. Proceedings [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 75-78.

VOLK, L. B. da S.; GENRO, T. C. M.; TRINDADE, J. P. P. Total organic carbon stock in Luvisol under natural grassland with different intensifications in Pampa biome. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES IN AGRICULTURE, 2., 2016, Campo Grande, MS. Proceedings [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 375-379. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 216).

Figura: Estoques de carbono orgânico total no solo em Luvisolo sob pastagem natural (Campo Nativo) com diferentes intensificações.



Créditos: Leandro Bochi de Silva Volk

COORDENADORES DO PROJETO

Dr. Leandro Bochi da Silva Volk

Embrapa Pecuária Sul

e-mail: leandro.volk@embrapa.br

Dra. Teresa Cristina Moraes Genro

Embrapa Pecuária Sul

e-mail: cristina.genro@embrapa.br

INDICADOR DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA PECUÁRIO INTEGRADO DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NO BIOMA AMAZÔNIA

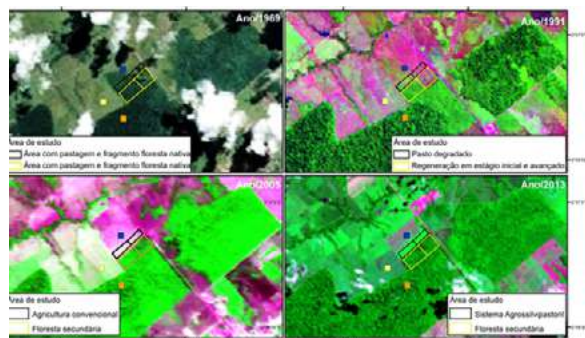
Sigleia Sanna de Freitas Chaves¹; Lucieta Guerreiro Martorano²; Marcello Neiva de Mello³; Carlos Tadeu dos Santos Dias⁴; Plínio Barbosa de Camargo⁵; Paulo Campos Christo Fernandes⁶

¹ Profissional associado Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (Pecege) da Universidade de São Paulo; ² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amazônia Oriental; ³ Universidade Federal da Amazônia; ⁴ Universidade Federal do Ceará; ⁵ Centro de Energia Nuclear na Agricultura; ⁶ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrado.

No âmbito do Projeto Componente 7, foram desenvolvidas ações de pesquisa para avaliar a dinâmica da matéria orgânica no solo (MOS) em sistemas de produção agropecuária no Bioma Amazônia. O objetivo neste trabalho foi avaliar o estoque de carbono no solo em pastagens melhoradas, no município de Paragominas, Sudeste do Estado do Pará. A pesquisa foi realizada em uma área da Fazenda Vitória, destinada à unidade de referência tecnológica (URT) da Embrapa Amazônia Oriental. O solo do local é classificado como Latossolo Amarelo de textura argilosa. Para a pesquisa, foi avaliada a seguinte cronossequência: vegetação nativa (VN), utilizada como referência, classificada como floresta ombrófila densa (localizada próximo à pastagem); pastagem degradada (PD), destinada à pecuária extensiva, formada por *Brachiaria humidicola*, com alta infestação de plantas daninhas e manejada com fogo para renovação; pastagem melhorada em integração com paricá - *Schizolobium amazonicum* - (PP) e pastagem melhorada em integração com mogno-africano - *Khaya grandifoliola* (PM). As coletas de solo foram realizadas em diferentes anos, ao longo do estudo (Figura 1), sendo que Camargo *et al.* (1999) avaliou as áreas VN e PD no ano de 1993, e as áreas PP e PM foram avaliadas em 2013. O processo de melhoramento da pastagem (transição de PD para PP e PM), iniciou no ano de 2009, com a correção da fertilidade do solo, para posterior implantação do sistema integração lavoura-pecuária-floresta. O componente lavoura foi desenvolvido até o junho de 2012, seguindo o modelo de sucessão pastagem (*B. brizantha* cv. Piatã) e milho (*Zea mays*), cultivados em faixas (20 m de largura) e separados pelos componentes florestais. A partir do segundo semestre de 2012 permaneceram na área os componentes pecuária e floresta, fase em que os animais foram inseridos para pastejo direto. Nas pastagens melhoradas (PP e PM), as amostras foram coletadas segundo recomendações do protocolo da Rede PECUS, nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm. As coletas nas áreas VN e PD foram realizadas segundo Camargo *et al.* (1999), também nas mesmas camadas. A concentração de carbono (C) e a composição isotópica do solo ($\delta^{13}\text{C}$) foram avaliadas em analisador elementar (Carlo Erba), acoplado em espectrômetro de massas de razão isotópica em fluxo contínuo (Delta Plus). A densidade do solo (Ds) foi calculada segundo Embrapa (1997). O cálculo do estoque de C, que corresponde ao produto do teor de C (g kg^{-1}) pela Ds (g cm^{-3}) e pela profundidade da camada, foi ajustado de acordo com a área de referência (VN), conforme

Ellert e Bettany (1995). A origem da MOS nas pastagens diferiu da área de vegetação nativa na camada 0-10 cm. As áreas de pastagens apresentaram semelhança em relação ao $\delta^{13}\text{C}$, sendo que cerca de 22% do C do solo identificado nestas áreas tem origem em plantas de ciclo fotossintético C4. Tal fato está relacionado a textura argilosa do solo que favorece a proteção física da MOS em agregados, fator que reduz o processo de decomposição da MOS da cobertura vegetal anterior (C3). Infere-se também que a contribuição de plantas C3 no solo das áreas PP e PM tem relação com a incorporação de biomassa das plantas daninhas (de ciclo C3) que permaneceram na área antes do processo de melhoramento das pastagens. Não houve diferença significativa no estoque de C entre as pastagens melhoradas (média de 55 Mg ha^{-1}) e a VN (55 Mg ha^{-1}) na camada 0-30 cm. O menor estoque de C foi identificado na área PD ($42,4 \text{ Mg ha}^{-1}$), que diferiu das demais até 20 cm de profundidade. O aumento do estoque de C na pastagem melhorada indica melhorias na qualidade do solo. O incremento da MOS nestas áreas amplia a capacidade de resiliência nos sistemas agropecuários integrados, sendo o estoque de C um indicador de sustentabilidade ambiental ao comparar tais sistemas a pastagens degradadas e que usam o fogo como estratégia de renovação anual.

Figura: Cronossequência na área da Fazenda Vitória (Paragominas, PA) nos anos de 1969, 1991, 2005 e 2013. Em todas as imagens, os pontos da cor laranja indicam a um fragmento de floresta nativa, os pontos da cor amarela indicam uma pastagem homogênea e os pontos da cor azul (nos anos 1969, 1991 e 2005) indicam manejos semelhantes ao do retângulo preto. No ano de 2013 a área delimitada pelo retângulo preto (identificada como sistema agrossilvipastoril) corresponde às pastagens melhoradas avaliadas na presente pesquisa.



RESULTADOS PRELIMINARES

- O estoque de carbono no solo (0-30 cm) da área de vegetação nativa foi semelhante às áreas de pastagens recuperadas (próximo a 55 Mg ha⁻¹) e, diferiram da área de pastagem degradada (42,4 Mg ha⁻¹);
- A maior parte do carbono estocado no solo das pastagens recuperadas é originário de plantas com rota fotossintética do tipo C3. A maior contribuição das pastagens (plantas C4) ocorreu na camada 0-10 cm, com 21% na PM e 23% na PP, permanecendo abaixo de 15% nas camadas subsuperficiais. A identificação da origem da matéria orgânica do solo é uma ferramenta que tem potencial para ser utilizada com indicador de incremento de C no solo de pastagens, ao longo do tempo, levando em consideração as características edafoclimáticas do ambiente e também o manejo do sistema;
- O melhoramento das pastagens com a implantação do sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) evidencia que a estratégia na transferência de tecnologia da Embrapa na região de Paragominas foi exitosa. A pesquisa desenvolvida na Fazenda Vitória evidenciou o incremento na fixação de carbono no solo da área manejada em sistema ILPF evidenciando contribuições favoráveis à sustentabilidade ambiental, após o processo de recuperação da pastagem.

DESAFIOS

- Recuperar pastagens em vias de degradação, no Bioma Amazônia, pela adoção de técnicas agropecuárias especializadas, visando o uso racional de recursos naturais e aumento de estoques de carbono no solo;
- Recompôr a perda de matéria orgânica e compactação do solo decorrente do manejo inadequado de áreas de cultivo agrícola e de produção pecuária, incentivando o desenvolvimento de sistemas especializados conservacionistas para aumentar resiliência das áreas produtivas e prevenir a degradação da área produtiva;
- Divulgação de práticas agrícolas viáveis economicamente, capazes de mitigar as emissões de GEE e de otimizar a produtividade. É necessário incentivar a recuperação de pastagens para mitigar as emissões de GEE nas pastagens em vias de degradação na Amazônia;
- Gerar informações científicas a respeito de indicadores de qualidade do solo em sistemas agropecuários integrados, com o intuito de fornecer informações para subsidiar políticas públicas para o desenvolvimento agropecuário sustentável do Bioma Amazônia.

SOLUÇÕES

- Os resultados indicam a importância em desenvolver pesquisas sobre sistemas agropecuários que preconizam o uso racional dos recursos naturais;
- A avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo, ao longo da cronossequência, apontou que o investimento em recuperação e melhoramento de pastagens é viável e ambientalmente correto, pois aumentou o estoque de carbono nas áreas PP e PM;
- O aumento do estoque de carbono no solo após a recuperação das pastagens é indicador de sustentabilidade ambiental do sistema de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CAMARGO, P. B.; TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A.; DAVIDSON, E. A.; NEPSTAD, D. C.; VICTORIA, R. L. Soil carbon dynamics in regrowing forest of eastern Amazonia. *Global Change Biology*, Oxford, v. 9, p. 693-702, 1999.
- ELLERT, H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 75, p. 529-538, 1995.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. Desuendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

DADOS PUBLICADOS EM:

- CHAVES, S. S. F.; BIASE, A. G.; MELO, M. N.; DIAS, C. T. S.; MARTORANO, L. G. Análise de agrupamento e componentes principais na avaliação de sistemas integrados de produção agropecuária no nordeste paraense. In: ENCONTRO MINEIRO DE ESTATÍSTICA, 12.; SEMANA DA ESTATÍSTICA, 3., 2013, Uberlândia, MG.
- CHAVES, S. S. F.; MARTORANO, L. G.; CAMARGO, P. B.; EL-HUNSNY, J. C.; FERNANDES, P. C. C.; VALENTE, M. A. Estoque de carbono no solo em área de pastagem convencional e sistema agrossilvipastoril em Paragominas. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 2., 2013, Belém, PA.
- CHAVES, S. S. F.; MARTORANO, L. G.; FERNANDES, P. C. C.; MONTEIRO, D. C. A.; EL-HUNSNY, J. C. Avaliação do potencial de expansão do sistema integração lavoura-pecuária-floresta na recomposição de paisagens sustentáveis em Paragominas, PA. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA INTERDISCIPLINAR DA AMAZÔNIA LEGAL, 1., 2011, Belém.

Continuação no Anexo

COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Patrícia Perondi Anchão Oliveira

Embrapa Pecuária Sudeste

e-mail: patricia.anchao-oliveira@embrapa.br

Dr. Lucieta Guerreiro Martorano

Embrapa Amazônia Oriental

e-mail: lucieta.martorano@embrapa.br

MODELAGEM ESTATÍSTICA DO CARBONO NO SOLO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO ESPECIALIZADO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA EM PARAGOMINAS-PA

Marcello Neiva de Mello¹; Carlos Tadeu dos Santos Dias²; Lucieta Guerreiro Martorano³; Sigleia Sanna Freitas⁴; Adriele Giaretta Biase⁵; Paulo Campos Christo Fernandes⁶

1 Universidade Federal da Amazônia; 2 Universidade Federal do Ceará; 3 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental; 4 Profissional associado Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (Pecege) da Universidade de São Paulo; 5 Tech Inovação Tecnológica para a Agropecuária; 6 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrado.

A Amazônia brasileira é considerada a maior floresta tropical remanescente do mundo e fornece importantes serviços ecossistêmicos, tais como a manutenção de diversas espécies da fauna da flora, a ciclagem da água, além de estocar uma grande quantidade de carbono no sistema solo-planta. Diante do exposto, entende-se que a conversão de florestas nativas em pastagens, assim como o uso do fogo para renovação de pastos podem ameaçar o equilíbrio das funções do ecossistema. Os sistemas de produção agropecuários desenvolvidos no bioma Amazônia devem ser conduzidos com uso de técnicas que preconizem o uso racional dos recursos naturais. Por este motivo, cada vez mais verifica-se o interesse em avaliar e modelar a concentração do Carbono (C) e do Nitrogênio (N) no solo, em diferentes sistemas de uso da terra, pois a dinâmica destes elementos está diretamente relacionados à sustentabilidade do arranjo produtivo e à mitigação de possíveis impactos ambientais. A abordagem de modelos não-lineares está sendo cada vez mais comum, cita-se como exemplo estudos como de Oliveira *et al.* (2000) o qual compara modelos para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzera. Paz *et al.* (2004) também utilizaram modelos para explicar a associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos. Nesse contexto, Zeviani *et al.* (2012) utilizaram modelos não lineares para descrever a liberação de nutrientes no solo, evidenciando diferentes possibilidades de aplicação das análises estatísticas com modelos não-lineares mistos para avaliar e explicar fenômenos da natureza. Assim, o presente capítulo apresenta resultados de modelagem para explicar a dinâmica da concentração de C e N em diferentes profundidades do solo em sistema ILPF. A pesquisa foi realizada na Fazenda Vitória, localizada no município de Paragominas, sudeste paraense, delimitado pelas coordenadas geográficas 02°59'58,37"S e 47°21' 21,29"W. Foram estudados três padrões distintos de uso e cobertura do solo: I. Sistema agrossilvipastoril formado por *B. brizantha* cv. *piatã* entre faixas de cultivo de *Schizolobium amazonicum* (paricá); II. Sistema agrossilvipastoril formado por *B. brizantha* cv. *piatã* entre faixas de cultivo de *Khaya* spp. (mogno africano); III. Floresta secundária. A coleta de solo foi realizada em 2013, com três repetições em cada área, nas seguintes camadas: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-130 e 130-150 cm. Para a avaliação do teor de C e N (g

kg⁻¹), as amostras de solo (TFSA) foram analisadas por em um analisador elementar Carlo Erba CHN 1110. Esses dados foram utilizados para testar os modelos não-lineares mistos e para descrever o comportamento médio das respostas dos teores de C e de N nas pastagens e na floresta secundária. Foi considerado como a medida repetida no espaço (profundidade) e a heterogeneidade de variâncias neste espaço. De maneira geral, os teores de C e N na i-ésima amostra (indivíduo), na j-ésima profundidade do u-ésimo sistema pode ser representado por $Y_{iju} = \beta_{0u} X^{-\beta_{1u}} ij + \epsilon_{iju}$ em que xij é a profundidade na i-ésima amostra (i = 1, ..., N), na j-ésima profundidade (j = 1, ..., ni). Em termos de modelos mistos, tem-se que $Y_{iju} = \beta_{0u} X^{-\beta_{1u} + b_{1i}} ij + \epsilon_{iju}$ em que β_{0u} é o valor médio do teor em estudo no sistema, β_{1u} é a taxa de acúmulo deste teor, b_{1i} é o efeito aleatório associado a β_{1u} , independente e identicamente distribuído como $N(0, \sigma^2 b)$ e ϵ_{iju} é o erro aleatório associado a Y_{iju} , independente e identicamente distribuído como $N(0, \sigma^2 \epsilon)$, e independentes de b_{1i} . Métodos robustos que permitem modificação de estruturas matriciais devem ser utilizados para captar tal heterogeneidade, a partir do modelo não-linear misto. Dentre todos os testados, o modelo f2C.2, com estrutura assumindo covariâncias iguais para efeitos aleatórios e estrutura varPower para resíduos foi o quemelhor se ajustou aos dados observados de carbono no solo, validado por meio da análise de resíduos.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Alta variabilidade nas camadas mais superficiais de teores de C e N no solo;
- Vários modelos testados, a partir do teste de razão de verossimilhança, modificando estruturas de matrizes de covariâncias intra-indivíduos;
- O modelo com função potência de variâncias foi o que melhor se adequou aos dados observados em sistema de produção pecuária em Paragominas.

DESAFIOS

- Alto custo para coleta do solo e realização das análises químicas em laboratório;
- O número de repetições aumenta a significância estatística, mas os custos elevados para realização das análises são fatores que devem ser considerados quando se avalia resultados de análises feitas a campo e modelagem estatística;
- É necessário maior número de amostras de solo, ao longo dos perfis, para garantir maior precisão no modelo de estimativa de incorporação de C em solos manejados com pastagem no bioma Amazônia, como foi o caso do estudo em Paragominas.

DADOS PUBLICADOS EM:

MELLO, M. N. Modelo não-linear misto aplicado a análise de dados longitudinais em um solo localizado em Paragominas, PA. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências: Estatística e experimentação agrônômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

MELLO, M. N.; DIAS, C. T. S.; MARTORANO, L. G.; CHAVES, S. S. F.; FERNANDES, P. C. C. Modelos não lineares mistos para descrever o teor de carbono orgânico no solo. Revista Brasileira de Biometria, v. 36, n. 1, p. 230-240, 2018.

MELLO, M. N.; DIAS, C. T. S.; MARTORANO, L. G.; CHAVES, S. S. F.; OLIVEIRA, P. P. A. Nonlinear mixed model applied to the analysis of longitudinal data in a soil located in Paragominas, PA. In: SIGEE - SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GASES DE EFEITO ESTUFA NA AGROPECUÁRIA, 2., 2016, Campo Grande.

SOLUÇÕES

- A adoção de sistema de produção que priorizam a recuperação de pastagens tem a capacidade de aumentar a incorporação de carbono no solo;
- O modelo misto utilizado se mostrou eficiente para descrição do teor de C e N ao longo dos perfis dos solos, sendo uma valiosa ferramenta de monitoramento e estimativa da dinâmica do C no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

OLIVEIRA, H. N.; LOBO, R. B.; PEREIRA, C. S. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1843-1851, 2000.

PAZ, C. C. P.; PACKER, I. U.; FREITAS, A. R.; TAMBASCO, D. D.; REGITANO, L. C. A.; ALENCAR, M. M. Influência de polimorfismos genéticos sobre os parâmetros da curva de crescimento de bovinos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia – Brazilian Journal of Animal Science, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 858-869, 2004.

ZEVIANI, W. M.; SILVA, C. A.; CARNEIRO, W. J. O.; MUNIZ, J. A. Modelos não lineares para a liberação de potássio de esterco animal em latossolos. Ciência Rural, Santa Maria, v. 12, n. 10, p. 1798-1796, 2012.

COORDENADORES DO PROJETO

Dra. Patrícia Perondi Anchão Oliveira

Embrapa Pecuária Sudeste

e-mail: patricia.anchao-oliveira@embrapa.br

Dra. Lucieta Guerreiro Martorano

Embrapa Amazônia Oriental

e-mail: lucieta.martorano@embrapa.br

Figura: Sistema agrossilvipastoril formado por *B. brizantha* cv. piatã entre faixas de cultivo de *Khaya* spp. (mogno africano). Fazenda Vitória – Paragominas, PA



Crédito: Paulo Fernandes

Figura: Perfil do solo avaliado no sistema agrossilvipastoril formado por *B. brizantha* cv. piatã entre faixas de cultivo de *Schizolobium amazonicum* (paricá). Latossolo Amarelo argiloso. Fazenda Vitória – Paragominas, PA.



EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E INDICADORES AMBIENTAIS EM FLORESTA PLANTADA DE EUCALIPTO NA REGIÃO CORE DO CERRADO

Alexsandra Duarte de Oliveira¹, Fabiana Piontekowski Ribeiro², Eloisa Aparecida Belleza Ferreira¹, Arminda Moreira de Carvalho¹, Sebastião Pires de Moraes Neto¹, Karina Pulrolnik¹, Alcides Gatto²

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados; ² Universidade de Brasília

Estudo 1. Este estudo avaliou a dinâmica dos fluxos de CH₄ e N₂O de solos sob plantações de eucalipto e vegetação nativa do Cerrado, bem como possíveis interações entre fatores ambientais e fluxos. Os fluxos acumulados não foram influenciados pela idade dos povoamentos de eucalipto, histórico de uso, e anos estudados. Os fluxos cumulativos de N₂O nas três áreas foram $\leq 0,85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Quanto ao CH₄, os valores foram negativos, e variaram de -1,86 a -0,63 kg ha⁻¹ ano⁻¹, em plantios de eucalipto, assim como em vegetação nativa de Cerrado. O período de estudo sugere a captação de CH₄ da atmosfera e a contribuição do CH₄ e N₂O para o potencial de aquecimento global (PAG) que variou de 82 a 228 Kg CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹ para os plantios de eucalipto e de 57 a 82 Kg CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹ para vegetação nativa do Cerrado.

Estudo 2. O estudo avaliou a dinâmica da serrapilheira em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* com diferentes idades e Cerradão. Na avaliação, foram observados maiores teores de biomassa e C na serrapilheira para eucalipto de maior idade. Em contrapartida, a maior taxa de decomposição foi para o Cerradão (massa remanescente em 720 dias de 23%), atribuída à maior liberação aparente de N, umidade do solo e biodiversidade na área nativa. Os teores de lignina aumentaram, a celulose diminuiu e a hemicelulose permaneceu estável, ao longo de 720 dias. Também foi observado aumento na concentração de N e P da massa remanescente e correlações positivas entre a massa remanescente e as relações C: N e C: P. A relação C: N da serrapilheira foi $\geq 76: 1$ no tempo zero e $\geq 30: 1$, aos 720 dias para as áreas avaliadas.

do Cerradão. Em relação ao N-mineral, a forma predominante foi a amoniacal.

- A decomposição da serrapilheira foi positivamente correlacionada com a redução do conteúdo de celulose. As concentrações de N e P aumentaram, indicando que quanto maior a perda, maior a concentração dos elementos na massa remanescente.
- O plantio de eucalipto após uso agrícola revela maior concentração de P. O solo desta área apresentou cerca de três vezes mais P quando comparado ao Cerradão e ao eucalipto plantado em área, sem histórico de uso agrícola.
- As relações C: N e C: P tiveram correlações positivas com a perda de massa da serrapilheira, devido ao C apresentar liberação média de 21% para as áreas avaliadas.
- Vale ressaltar também que se o período de estudo tivesse sido de apenas um ano (360 dias), nenhuma diferença seria detectável na massa remanescente da serrapilheira entre os talhões de eucalipto e a vegetação nativa.

DESAFIOS

- Avaliar as emissões de gases de efeito estufa e inferir sobre os indicadores ambientais em florestas plantadas com eucalipto e natural do bioma Cerrado.

RESULTADOS PRELIMINARES

- Não foi objetivo do trabalho a obtenção de fatores de emissão; no entanto, esta pesquisa gerou os seguintes resultados apresentados a seguir:
- Em povoamentos florestais com eucalipto já implantados, os fluxos diários de gases de efeito estufa (N₂O e CH₄) foram baixos e não diferem

SOLUÇÕES

- As florestas já implantadas com eucalipto de diferentes idades têm potencial de mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

DADOS PUBLICADOS EM:

OLIVEIRA, A.D.; RIBEIRO, F.P.; FERREIRA, E.A.B.; MALAQUIAS J.V.; ALCIDES, G., ZUIM, D.R.; PINHEIRO, L.A.; PULROLNIK, K.; SOARES, J.P.G.; CARVALHO, A.M. CH_4 and N_2O fluxes from planted forests and native Cerrado ecosystems in Brazil. *Scientia Agricola*. v.78, n.1, e20180355, 2021.

RIBEIRO, F.P.; GATTO, A.; OLIVEIRA, A.D.; PULROLNIK, K.; FERREIRA, E.A.B.; CARVALHO, A. M. de; BUSSINGUER, A. P.; MULLER, A. G.; MORAES NETO, S. P. de. Litter Dynamics in Eucalyptus and Native Forest in the Brazilian Cerrado. *Journal of Agricultural Science*, v.10, n.11, 2018.

COORDENADORES DO PROJETO

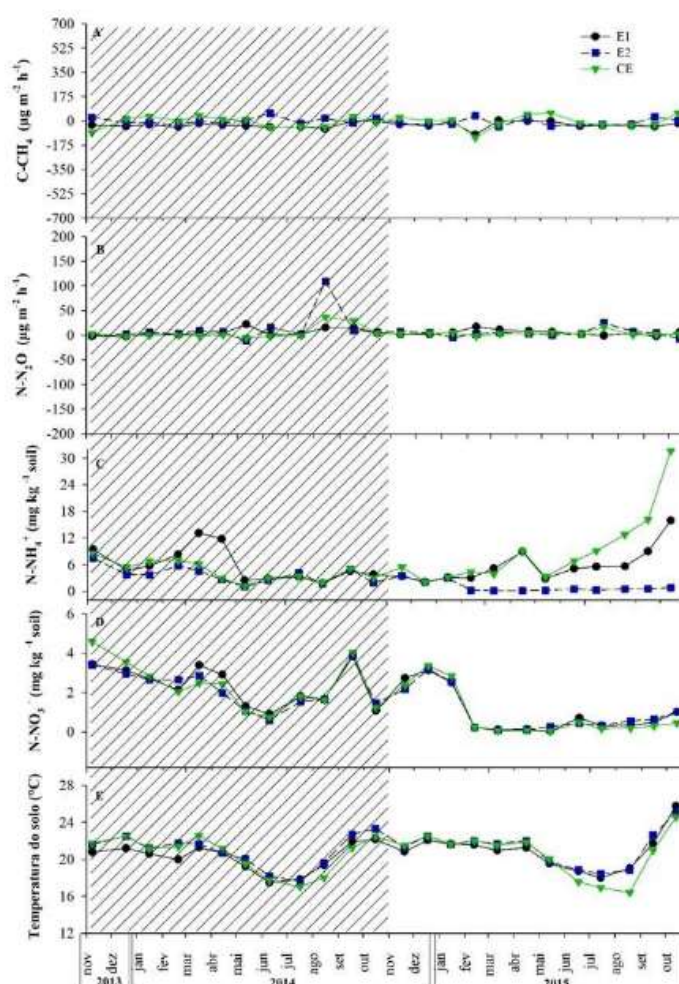
Dra. Eloisa Aparecida Belleza Ferreira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cenargen
e-mail: eloisa.belleza@embrapa.br

Dra. Alessandra Duarte de Oliveira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados
e-mail: alessandra.duarte@embrapa.br

Figura: Fluxos diários de metano - CH_4 (A), fluxos diários de óxido nitroso - N_2O (B), amônio NH_4^+ (C), nitrato NO_3^- (D) e temperatura do solo (E) de novembro de 2013 a outubro de 2015 em povoamentos *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com 48 meses - E1, com 72 meses - E2 e em vegetação de Cerrado - CE. Fonte: Oliveira *et al.* (2021)



Anexo – Continuação bibliográfica

Complemento das referências bibliográficas e publicação de dados das contribuições:

Expansão do cultivo de cana-de-açúcar: transformação das áreas com pastagens degradadas em áreas com cana-de-açúcar e alterações nas emissões de gases de efeito estufa

Referências bibliográficas

RAIJ, V. B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURIANI, A. M. C. Boletim Técnico nº 100: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: [s. n.], 1997.

Emissão de CH₄ e N₂O e potencial de sistemas de irrigação intermitente na mitigação desses gases em lavouras de arroz no estado do Rio Grande do Sul

Referências bibliográficas

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*, Amsterdam, v. 106, p. 36-44, 2009.

HOU, H.; PENG, S.; XU, J.; YANG, S.; MAO, Z. Seasonal variations of CH₄ and N₂O emissions in response to water management of paddy fields located in Southeast China. *Chemosphere*, Amsterdam, v. 89, p. 884-892, 2012.

IRRI – International Rice Research Institute. Rice Facts. Disponível em: <http://irri.org>.

ITOH, M. Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 141, p. 359-372, 2011.

JOHNSON-BEEBOUT, S. E.; ANGELES, O. R.; ALBERTO, M. C. R.; BURESH, R. J. Simultaneous minimization of nitrous oxide and methane emission from rice paddy soils is improbable due to redox potential changes with depth in a greenhouse experiment without plants. *Geoderma*, Amsterdam, v. 149, p. 45-53, 2009.

KIM, G. Y.; GUTIERREZ, J.; JEONG, H. C.; LEE, J. S.; HAQUE, M. D. M.; KIM, P. J. Effect of intermittent drainage on methane and nitrous oxide emissions under different fertilization in a temperate paddy soil during rice cultivation. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, New York, 2014.

KUDO, Y.; NOBORIO, K.; SHIMOOZONO, N.; KURIHARA, R. The effective water management practice for mitigating greenhouse gas emissions and maintaining rice yield in central Japan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 186, p. 77-85, 2014.

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*, Amsterdam, v. 408, p. 906-913, 2010.

MOSIER, A. R. Chamber, and isotope techniques. In: ANDREA, M. O.; SCHIMEL, D. S. (eds.). *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop*. Berlin: Wiley, 1989. p. 175-187.

MOTERLE, D. F.; SILVA, L. da S.; MORO, V. J.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; AVILA, L. A.; BUNDT, A. da C. Methane efflux in rice paddy field under different irrigation managements. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 37, p. 431-437, 2013.

PANDEY, A.; MAI, V. T.; VU, D. Q.; BUI, T. P. L.; MAI, T. L. A.; JENSEN, L. S.; NEERGAARD, A. Organic matter and water management strategies to reduce methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in Vietnam. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 196, p. 137-146, 2014.

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.

TYAGI, L.; KUMARI, B.; SINGH, S. N. Water management – A tool for methane mitigation from irrigated paddy fields. *Science of Total Environment*, Amsterdam, v. 408, n. 5, p. 1085-1090, 2010.

WESZ, J. Emissões de metano e óxido nitroso em planossolo em função do manejo da água no arroz irrigado. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

ZHANG, G.; JI, Y.; MAA, J.; XU, H.; CAI, Z.; YAGI, K. Intermittent irrigation changes production, oxidation, and emission of CH₄ in paddy fields determined with stable carbon isotope technique. *Soil Biology and Biochemistry*, Elmsford, v. 52, p. 108-116, 2012.

ZSCHORNACK, T. Emissões de metano e de óxido nitroso em sistemas de produção de arroz irrigado no sul do Brasil e potencial de mitigação por práticas de manejo. 2011. 101 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Balanco de carbono e dinâmica de gases de efeito estufa em sistemas milho-plantas de cobertura no bioma Cerrado

Dados publicados em:

CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; DANTAS, R. A. de.; REIN, T. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [Online], v. 50, p. 551-561, 2015.

CAVALCANTE, E. Dinâmica de GEEs e balanço de C em sistemas de produção de grãos no bioma Cerrado. 2016. Iniciação Científica. (Graduando em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Orientador: Arminda Moreira de Carvalho.

DANTAS, R. A. Mineralização de nitrogênio em um sistema de milho em sucessão a plantas de cobertura. Início: 2018. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, L. R. P. Composição química de plantas de cobertura e efeitos na qualidade da matéria orgânica do solo. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SILVA, A. N.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de; SOARES, D. S.; SANTOS, D. C. R.; SILVA, V. G. Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. *Aust. J. Crop Sci.*, v. 10, p. 1623-1629, 2016.

SILVA, V. G. da. Fluxos de óxido nitroso e frações de nitrogênio no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura em sistema plantio direto no cerrado. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

VERAS, M. Dinâmica de C e N e fluxos de N₂O em sistema plantio direto com uso de plantas de cobertura. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

Avaliação de fontes de N e de condicionador de solo na redução das perdas de N por volatilização N-NH₃ e emissão N-N₂O na cultura do feijoeiro comum irrigado sob plantio direto

Dados publicados em:

BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M. da; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. da C. S. Produtividade do feijoeiro irrigado em razão de fontes de adubo nitrogenado estabilizado e de liberação controlada. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 62, n. 6, p. 614-620, nov-dez 2015.

CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; SILVEIRA, P. M. da; BERNARDES, T. G.; CARVALHO, M. da C. S.; SILVA, M. A. S. da. Impacto de fontes de nitrogênio sintético sobre a emissão de gás de efeito estufa e a produtividade do feijão-comum. Comunicado técnico 241. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, jan. 2018.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; JANTALIA, C. P.; MACHADO, P. L. O. de A.; CUNHA, M. B. da; MARTINS, D. R.; SANTOS, J. H. G. dos; ALVES, B. J. R. Fator de emissão de óxido nitroso (N_2O) para a fertilização com N na cultura do feijoeiro comum irrigado no Cerrado. Comunicado técnico 144. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, dez 2007.

Emissão de N_2O em sistemas de produção de milho sob plantio direto e plantio convencional em latossolo do Cerrado**Referências bibliográficas**

MYHRE, G. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F. et al. (eds.). *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK; New York, US: Cambridge University Press, 2013. p. 659-740. Disponível em: <http://www.climatechange2013.org/report/full-report/>.

SANTOS, I. L.; OLIVEIRA, A. D.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JÚNIOR, J. D. D. G.; FERREIRA, E. A. B.; SÁ, M. A. C.; CARVALHO, A. M. Soil N_2O emissions from long-term agroecosystems: interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 233, p. 111-120, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.027>.

Manejo da adubação nitrogenada para a cultura de arroz irrigado**Dados publicados em:**

VEÇOZZI, T. A. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada em arroz irrigado: rendimento de grãos, eficiência no uso do nitrogênio e emissão de gases de efeito estufa. 2019. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

Referências bibliográficas

HIRZEL, J.; RODRÍGUEZ, F. Increasing nitrogen rates in rice and its effect on plant nutrient composition and nitrogen apparent recovery. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v. 73, n. 4, p. 385-390, 2013.

NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant and Soil*, v. 39, p. 309-318, 1973.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. 30. Bento Gonçalves. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2014. 192 p.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. 31. Bento Gonçalves. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

SMITH, K. A.; McTAGGART, I. P.; TSURUTA, H. Emissions of N_2O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potential for mitigation. *Soil Use and Management*, v. 13, p. 296-304, 1997.

Sistemas de irrigação e práticas de manejo da água como mitigadores de emissões de gases de efeito estufa em cultivo de arroz**Dados publicados em:**

SCIVITTARO, W. B.; SILVEIRA, A. D.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O.; BAYER, C.; FARIAS, M. O. Mitigação de emissões de gases de efeito estufa pelo manejo da água em lavoura de arroz irrigado. Comunicado técnico 311. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 8 p.

WESZ, J. Mitigação das emissões de metano e óxido nitroso no cultivo de arroz irrigado em planossolo sob diferentes manejos da água. 2012. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Solos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

Referências bibliográficas

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. 29. Bento Gonçalves. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2012. 192 p.

Potencial de práticas de manejo do solo e da cobertura vegetal em mitigar as emissões de gases de efeito estufa em terras baixas

Dados publicados em:

BUSS, G. L. Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de cultivo em terras baixas sob diferentes manejos de água, do solo e da cobertura vegetal. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, J. T. da; BUSS, G. L.; VEÇOZZI, T. A.; JARDIM, T. M.; BARROS, L. M. Fatores de emissão de gases de efeito estufa associados ao manejo do solo e da palha para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Comunicado técnico 347. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 11 p.

Modelagem das emissões de óxido nitroso de pastagens pura de gramínea e consorciada de gramínea com leguminosa no oeste da Amazônia brasileira**Referências bibliográficas**

MEURER, K. H. E. et al. Direct nitrous oxide (N₂O) fluxes from soils under different land use in Brazil – a critical review. Environ. Res. Lett., v. 11, 2016. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/2/023001/pdf>.

NEILL, C. et al. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon Basin. Soil Biol. Biochem., v. 27, p. 1167-1175, 1995.

VERCHOT, L. V. et al. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. Global Biogeochem. Cycles, v. 13, p. 31-46, 1999.

Mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por plantios de pinus em região de elevado potencial produtivo**Referências bibliográficas**

SCHULTZ, R. P. Loblolly pine: the ecology and culture of loblolly pine (Pinus taeda L.). Washington, DC: USDA Forest Service, 1973. (Agriculture Handbook, 713).

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, 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 & Tillage Research*, 76, p. 39-58, 2004.

Biomassa e estoque de carbono em árvores de eucalipto em sistemas integrados de produção pecuária

Referências bibliográficas

FIGUEIREDO, E. B.; JAYASUNDARA, S.; BORDONAL, R. O.; REIS, R. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 420-431, 2017. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132)

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 199, p. 394-406, 2015.

GUTMANIS, D. Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris. 2014. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

MULLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na zona da mata mineira. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 60, p. 11-17, 2009.

OFUGI, C.; MAGALHÃES, L. L.; MELIDO, R. C. N.; SILVEIRA, V. P. Integração lavoura-pecuária (ILPF), sistemas agroflorestais (SAFs). In: TRECENTI, R. et al. (ed.). *Integração lavoura-pecuária-silvicultura: boletim técnico*. Brasília: MAPA/SDC, 2008. p. 20-25.

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 623-634, 2015.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 190, 70-79, 2014.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

Balanço de carbono em propriedades rurais com plantio agrossilvipastoril

Referências bibliográficas

BRIANEZI, D. Balanço de gases de efeito estufa em propriedades rurais: métodos e aplicações. 2015. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2015.

CASTRO NETO, F.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; CASTRO, M. M. de; VILLANOVA, P. H.; FERREIRA, G. L. Balanço de carbono: viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais em Viçosa, MG. *FLORAM*, v. 24, p. 1-9, 2017.

SCHETTINI, B. L. S. Balanço de carbono e viabilidade econômica de um sistema silvipastoril com pecuária leiteira, em Visconde do Rio Branco, Minas Gerais. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; ROCHA, S. J. S. S.; ALVES, E. B. B. M.; VILLANOVA, P. H. Estocagem de carbono em sistemas silvipastoris com diferentes arranjos e materiais genéticos. *Advances in Forestry Science*, v. 4, p. 175-179, 2017.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 34, p. 235-244, 2014.

TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; CARNEIRO, A. C. O.; TORRES, C. M. M. E. Estimativas da produção e propriedades da madeira de eucalipto em sistemas agroflorestais. *Scientia Forestalis (IPEF)*, v. 44, p. 137-148, 2016.

Emissão de CO₂ e estoque de carbono do solo em áreas agrícolas e florestas plantadas na região do Cerrado do Mato Grosso do Sul

Referências bibliográficas

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E.; BABBITT, R. Fire in the Brazilian Amazon: biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia, Berlin*, v. 104, n. 4, p. 397-408, 1995.

MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZPÉREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic matter study of whole soil samples using laserinduced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal, Águas de Lindóia*, v. 70, n. 1, p. 5763, 2006.

PINTO JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Soil efflux CO₂ in mature transitional tropical forest Amazônia and pasture area. *Acta Amazonica, Manaus*, v. 39, n. 4, p. 813-821, 2009.
