

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de produção e área natural
de terras baixas**

Miguel David Fuentes Guevara

Pelotas, 2018

Miguel David Fuentes Guevara

**Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de produção e área natural
de terras baixas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientador: Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa

Coorientadora: Pesq^a. Dra. Walkyria Bueno Scivittaro

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

G939e Fuentes Guevara, Miguel David

Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de produção e área natural de terras baixas / Miguel David Fuentes Guevara ; Rogério Oliveira de Sousa, orientador ; Walkyria Bueno Scivittaro, coorientadora. — Pelotas, 2018.

106 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Sistemas de produção. 2. Gases de efeito estufa. 3. Mitigação. 4. Potencial de aquecimento global. I. Sousa, Rogério Oliveira de, orient. II. Scivittaro, Walkyria Bueno, coorient. III. Título.

CDD : 631.41

Miguel David Fuentes Guevara

EMISSÕES DE METANO E ÓXIDO NITROSO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO E
ÁREA NATURAL DE TERRAS BAIXAS

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 09 de Fevereiro de 2018

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa (Presidente), Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa, Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pelotas.

Pesquisadora Dr^a. Rosane Martinazzo, Doutora em), Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr. Gerson Lübke Buss, Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas.

*Dedico a mi amada familia Miguel,
Yalexi y Katerin por todo el apoyo
incondicional, porque todo lo que
soy hoy, es gracias a ustedes.*

Agradecimientos

En esta vida algún día nos preguntamos, cuál será nuestro propósito en este mundo?, muchas veces no encontrando la respuesta. Pero le doy gracias a Dios, porque me permitió entender cuál propósito me tenía preparado cuando llegué a Brasil: el hacerme parte de su familia, para que en cada paso que yo dé sea más semejante a su hijo Jesús;

A mi querido padre Miguel que me demuestra todo su grande amor, sacrificando sus propios intereses y sueños por verme feliz triunfando. A ti padre por importarte con los más mínimos detalles, siempre preocupado para que nunca me falte nada, trabajando con todo el sudor para sustentarnos como familia, siempre queriéndonos dar los mejores cuidados y la mejor educación;

A mi querida madre Yalexí por toda la disposición en verme crecer como persona y profesional, porque su grande amor incondicional lo pude ver reflejado en sus cuidados por mi vida y mi futuro. A ti madre por ser una luchadora contra el cáncer, que a pesar de no estar a tu lado en estos 2 años muy difíciles en tu vida, siempre me enseñaste a mantener la Fé y firmeza en nuestro señor aceptando su voluntad;

A mi querida hermana Katerin por todo el amor y cuidado, porque pude ver cada día tu preocupación por verme feliz y protegerme con cautela de todo lo que el mundo me deparaba, siempre atenciosa, cariñosa y temerosa de Dios.

A mis orientadores Rogério Oliveira de Souza y Walkyria Bueno Scivittaro por todo el apoyo, dedicación y arduo trabajo en el transcurso de mi formación académica, por el grande conocimiento transmitido que me hizo crecer en mi vida profesional y que sin ellos no hubiese sido posible realizar esta investigación.

A todos los profesores del PPG MACSA por las enseñanzas brindadas y todo el incentivo para nuestro aprendizaje;

A los funcionarios y participantes de la Embrapa Clima Temperado Adão, Cristina, Denoir, Lilian, Marla, Paulinho, Renata y Thaís por todos los días de campo, colectas, servicios y tiempos de compañerismo que fueron clave para la realización de este trabajo;

A mis colegas de estudios durante la maestría en el PPG MACSA, especialmente a MACSA 2016 (Alexssandra, Mussa, Jaqueline, Sibebe, Stefan,

Tamara, Thaís y Yasmin) por los momentos de unión y apoyo en los estudios, además agradecer por los momentos de unión y compañerismo, en los cuales nunca faltaron los tiempos de comida.

A mi grupo de trabajo de campo e investigación por todos los días de ardua labor (Anderson, Cristiano, Thaís y Víctor), porque sin ustedes no hubiera conseguido dar conclusión a cada parte de este trabajo. Sin olvidar el empeño de Luana y Thaisinha para mejorar mi escritura de portugués;

A la Universidad Federal de Pelotas, Departamento de Suelos, Programa de Postgraduación en Manejo y Conservación del Suelo y del Agua, Embrapa Clima Temperado, por permitir realizar mis estudios de maestría, ofreciéndome todo lo necesario para llevar a cabo la investigación;

A la CAPES por concederme la beca de estudios;

A los profesores Érico y Luciara por darme la oportunidad de participar en el grupo de investigación NEPERS y a los colegas de grupo con los cuales intercambié muchos conocimientos en estos últimos tres años (Ana, Arielle, Camilo, Carol, Danieli, Gabriel, Giulia, Guilherme, Hartur, Juliana, Karol, Lauren, Lucas, Marta, Matheus, Nazari, Nicole, Pablo, Pamela, Paula, Roger, Thayli, Vandressa, William);

A mi vínculo de hermanos Breno, Daniel, Luis, Matheus, Renan, Tiago y Wesley) porque desde que Dios me permitió conocerlos, aprendí a ver a Jesús en sus vidas, cada vez más edificado y aprendiendo a amar a cada uno. Especialmente a Luis Otávio por toda la amistad, compañerismo, consejos y apoyo permitiéndome madurar paso a paso en el reino de Dios;

A maça e caqui (Daniel, Debora, Yasmin, Luiza, Raquel, Renan, Shara, Tiago, Vitoria e Wesley) por cada uno de los momentos vividos, demostrándome que una vida en familia es lo más precioso que se puede tener en este mundo, y que mejor saber que esa familia será eterna para la gloria de Dios;

A todos los demás amigos que de una u otra forma aportaron un granito de arena en estos años y en especial a Rodolfo, Alfonso, Karina y Leandro por estar presente hoy aquí, mis más sinceros agradecimientos.

Muchas Gracias!

Resumo

FUENTES GUEVARA, Miguel David. **Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de produção e área natural de terras baixas**. 2018. 106f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

A atividade agropecuária cumpre um papel importante na dinâmica dos gases de efeito estufa (GEE) produzidos pelos solos, com destaque para o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). A capacidade de absorção da radiação infravermelha do CH_4 é 25 vezes maior que a do CO_2 e do N_2O , 298, para um período de permanência na atmosfera de 100 anos, caracterizando-os como potentes GEE. O presente estudo teve por objetivo a avaliação da dinâmica das emissões de N_2O e CH_4 em sistemas de produção e em área natural de terras baixas, buscando identificar sistemas potencialmente mitigadores das emissões de GEE. O estudo compreendeu avaliações de quatro áreas experimentais já implantadas e localizadas na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS, sobre um Planossolo, envolvendo os seguintes sistemas: arroz irrigado/pousio, rotação milho/soja em sistema plantio direto (SPD) em camalhões de base larga, pastagem melhorada e área natural. A dinâmica de fluxos de CH_4 e N_2O foi avaliada por um período de dois anos entre o outono de 2015 e o verão de 2017, mediante a metodologia de câmara estática fechada. Adicionalmente, calcularam-se as emissões totais de CH_4 e N_2O e o Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp). O sistema de arroz irrigado/pousio apresentou maior emissão acumulada (2 anos) de CH_4 ($1.486,0 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) que os demais sistemas, os fluxos de CH_4 predominaram nos períodos de cultivo de arroz. Conseqüentemente, esse sistema apresentou maior PAGp ($40.268,0 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$), 92,3% na forma de CH_4 , que os demais tratamentos ($p < 0,05$). A maior emissão total de N_2O acumulada foi registrada no sistema pastagem melhorada ($34,8 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$). Entretanto, a emissão total de GEE desse sistema foi baixa (PAGp de $10.475,26 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$), sendo 98,9% na forma de N_2O . Nesse sistema, as emissões de N_2O estiveram associadas à frequência de pastejo animal. Os sistemas pastagem melhorada e milho/soja mostraram-se potencialmente mitigadores de emissões de GEE, comparativamente ao sistema arroz irrigado/pousio, enquanto as emissões de GEE na área natural foram menores que todos os sistemas (PAGp de $1.505,99 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv. ha}^{-1}$) principalmente na forma de N_2O .

Palavras-chave: sistemas de produção; gases de efeito estufa; mitigação; potencial de aquecimento global

Abstract

FUENTES GUEVARA, Miguel David. **Methane and nitrous oxide emissions in production systems and natural area of lowlands**: 2018. 106f. Dissertation (Master Degree) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

The agricultural activity plays an important role in the dynamics of greenhouse gases (GHG) produced by the soils, with an emphasis on the carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). The absorption capacity of infrared radiation of CH₄ is 25 fold higher than the absorption of CO₂ and 298 high to N₂O, for a stay period in the atmosphere of 100 years, characterizing as potent GHG. The present study had as objective the evaluating of the dynamics of N₂O and CH₄ emissions in production systems and in natural area of lowlands, seeking to identify systems potentially mitigating GHG emissions. The study included evaluating of four experimental areas already implemented and located at an Embrapa Temperate Agriculture experimental area, in Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, Brazil, on an Albaqualf soil, involving the followings systems: irrigated rice/fallow, corn/soybean rotation in no-tillage (NT) on wide base ridges, native pasture and natural area. The dynamics of CH₄ and N₂O fluxes was evaluated for a period of two years between the fall of 2015 and the summer of 2017, using the methodology closed static chamber. In addition, the total emissions of CH₄ and N₂O and the partial Global Warming Potential (GWPP) were calculated. The irrigated rice/fallow system presented higher accumulated emission (2 years) of CH₄ (1,486.0 kg CH₄ ha⁻¹) than the other systems, the CH₄ fluxes predominated during in periods of rice cultivation. Consequently, this system presented higher PAGp (40,268.0 kg CO₂ equiv. ha⁻¹), 92.3% as CH₄, than the other treatments (p<0.05). The highest total accumulated N₂O emission was recorded in the native pasture system (34.8 kg N₂O ha⁻¹). However, the total emission of GHG from this system was low (PAGp of 10,475.26 kg CO₂ equiv. ha⁻¹), being 98.9% as N₂O. In this system, the N₂O emissions were associated with the frequency of animal grazing. The native pasture and corn/soybean systems, shown to be potentially mitigating GHG emissions, compared to the irrigated rice/fallow system, while the GHG emissions in the natural area were lower than all systems (PAGp of 1,505.99 kg CO₂ equiv. ha⁻¹) mainly as N₂O.

Keywords: production systems; greenhouse gases; mitigation; global warming potential

Lista de Figuras

- Figura 1** - Distribuição global de GEE, emitidos pelas terras agrícolas no ano de 2000 para 172 culturas (CH₄ de cultivo de arroz, CO₂, N₂O e CH₄ de drenagem de turfeiras (organossolos), e N₂O de aplicação de fertilizantes nitrogenados).....22
- Figura 2** - Modelo conceitual de emissão de NO, N₂O e N₂.....30
- Figura 3** - Coletores de gases do tipo câmara estática fechada nos sistemas arroz/pousio (a) e milho/soja e pastagem melhorada e na área natural (b).....41
- Figura 4** – Precipitação e fluxos de N₂O em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) Primeiro ano agrícola (ano 1), entressafra 2015 e safra 2015/16. (b) Segundo ano agrícola (ano 2), entressafra 2016 e safra 2016/17. 1°Nm= primeira adubação nitrogenada em cobertura no milho, no estágio de 4 folhas. 1°Na= primeira adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio V4. Ea= Entrada da água no arroz. 2°Na= segunda adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio R0 (iniciação da panícula). Barras verticais representam o desvio padrão da média.....46
- Figura 5** - Precipitação e fluxos de CH₄ em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) Primeiro ano agrícola (ano 1), entressafra 2015 e safra 2015/16. (b) Segundo ano agrícola (ano 2), entressafra 2016 e safra 2016/17. 1°Na= primeira adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio V4. 2°Na= segunda adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio R0 (iniciação da panícula). Ea= entrada d'água no arroz. C= colheita do arroz. S= supressão do alagamento. Barras verticais representam o desvio padrão da média.....53
- Figura 6** - Emissões sazonais de N₂O em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) e (b) Emissões totais de N₂O na entressafra e

safrã, respectivamente, durante o ano 1. (c) e (d) Emissões totais de N₂O na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 2. As barras de erros representam o desvio padrão da média.....58

Figura 7 - Emissões sazonais de CH₄ em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) e (b) Emissões totais de CH₄ na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 1. (c) e (d) Emissões totais de CH₄ na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 2. As barras de erros representam o desvio padrão da média.....62

Figura 8 - Emissão total acumulada de N₂O (a) e CH₄ (b) em sistemas de produção e área natural por um período de dois anos. As barras de erros representam o desvio padrão da média.....64

Figura 9 - Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) sazonal em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) e (b) PAGp na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 1. (c) e (d) PAGp na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 265

Figura 10 - Potencial de Aquecimento Global acumulado em sistemas de produção e área natural por um período de dois anos.....67

Lista de Tabelas

Tabela 1. Tratamentos/fases avaliados durante os períodos de safra de verão e entressafra de outono/inverno.....	41
---	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

CFCs	Clorofluorcarbonos
CTCs	Tetracloretos de Carbono
CH ₄	Metano
C/N	Carbono/Nitrogênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
ECD	Detector de Captura de Elétrons
Equiv.	Equivalente
ETB	Estação Experimental Terras Baixas
FID	Detector de Captura de Elétrons
GEE	Gases de Efeito Estufa
HCFCs	Hidrofluorclorocarbonos
HFC	Hidrofluorcarbonos
ILP	Integração-Lavoura-Pecuária
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
NH ₄ ⁺	Amônio
NO	Monóxido de Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
O ₃	Ozônio
PAGp	Potencial de Aquecimento Global parcial
PD	Plantio Direto
PFC	Perfluorocarbonos
SC	Sistema Convencional
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SO ₄ ²⁻	Sulfato
SPD	Sistema Plantio Direto

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1.	Gases de Efeito Estufa.....	18
2.2.	Setores produtores e proporções de gases em nível mundial e no Brasil.....	20
2.3.	Produção de arroz e emissão de gases de efeito estufa em áreas irrigadas.....	23
2.4.	Sistemas de rotações de culturas, espécies de coberturas e práticas de manejo em relação às emissões de GEE.....	27
2.4.1.	Produção de milho, soja e pastagens e emissão de gases.....	27
2.4.2.	Efeito dos sistemas de cultivos agrícolas e práticas de manejo do solo nas emissões de gases de efeito estufa.....	31
2.4.2.1.	Sistema plantio direto.....	32
2.4.2.2.	Sistema convencional.....	33
2.4.2.3.	Sistema de camalhões de base larga.....	33
3.	HIPÓTESES.....	36
4.	OBJETIVOS.....	37
4.1.	Geral.....	37
4.2.	Específicos.....	37
5.	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
5.1.	Tratamentos e delineamento experimental.....	38
5.2.	Condução do experimento.....	40
5.3.	Coleta e análise de amostras de ar para avaliação de emissões de gases de efeito estufa.....	42
5.4.	Análises complementares.....	44
5.5.	Análise estatística.....	44
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
6.1.	Dinâmica de fluxos de óxido nitroso do solo em sistemas de produção em terras baixas.....	45
6.2.	Dinâmica de fluxos de metano do solo em sistemas de produção em terras baixas.....	52
6.3.	Emissões totais de N ₂ O e CH ₄ em sistemas de produção e em área natural em terras baixas.....	57

6.4. Potencial de Aquecimento Global parcial em sistemas de produção e área natural em terras baixas.....	64
7. CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICES.....	86
Apêndice A. Emissão total acumulada de N ₂ O em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 1.....	888
Apêndice B. Emissão total acumulada de CH ₄ em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 1.....	888
Apêndice C. Potencial de Aquecimento Global acumulado em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 1.....	899
Apêndice D. Emissão total acumulada de N ₂ O em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 2.....	899
Apêndice E. Emissão total acumulada de CH ₄ em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 2.....	90
Apêndice F. Potencial de Aquecimento Global acumulado em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 2.....	90
Apêndice G. Fluxos de N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹) e CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹) por repetição ao longo de dois anos, media e desvio padrão nos sistemas de produção e área natural em terras baixas.....	911
Apêndice H. Precipitação pluviométrica ocorrida nas áreas experimentais.....	100

1. INTRODUÇÃO

O aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa (GEE), advindos principalmente das atividades industriais, da queima de combustíveis fósseis, do desmatamento e da expansão das áreas destinadas aos cultivos agrícolas, têm sido significativo nas últimas décadas, despertando o interesse de governos e da sociedade relativas à procura de medidas para a mitigação da emissão desses GEE. A geração intensa de GEE contribui com as mudanças climáticas, provocando impactos que tornam vulneráveis, direta ou indiretamente, tanto a sociedade como o meio ambiente (BERCHIN et al., 2015; IPCC, 2014).

De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental – QRAPI sobre Mudanças Climáticas, uma das causas da elevação da temperatura média global no decorrer dos últimos 50 anos é o acréscimo das emissões de GEE, originadas principalmente por ação antrópica (IPCC, 2014). As consequências do efeito estufa e das mudanças climáticas são perceptíveis na atualidade, por meio de eventos de precipitação extrema, alagamentos, períodos de seca prolongada, carência na disponibilidade e abastecimento de água e elevação do nível do mar, impactando a segurança alimentar, infraestrutura e produtividade agrícola (MARENGO, 2015).

Em nível mundial, as atividades agrícolas contribuem com 22% das emissões totais de dióxido de carbono (CO₂), 55% do metano (CH₄) e 80% do óxido nitroso (N₂O) (BAYER et al., 2011; SILVA, 2014). As emissões de CH₄ e N₂O proporcionadas pela atividade agrícola podem ser mais importantes em relação a outras fontes geradoras de gases dos setores produtivos, devido ao elevado potencial de aquecimento desses gases em comparação com o CO₂, sendo de 25 e 298 vezes maior respectivamente (APAZA et al., 2012; BAYER et al., 2015; JOSE et al., 2016).

A pecuária também proporciona aporte significativo de GEE, particularmente o CH₄, proveniente da fermentação entérica de ruminantes e o N₂O procedente principalmente do uso de fertilizantes nitrogenados, da conversão de vegetação natural para pastagem e do manejo e deposição de dejetos sobre as pastagens. Em decorrência, há a necessidade de ações de mitigação da emissão de GEE a nível global (CAMARGO, 2015; MOITINHO et al., 2013; OLIVEIRA, 2015).

Um dos fatores que influencia a dinâmica de emissões de GEE é a quantidade da matéria orgânica no solo. A diminuição do teor de matéria orgânica de sistemas intensivos de produção, que não adotam práticas conservacionistas, acarreta em maiores fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. No entanto, os fluxos podem ser reduzidos pela adoção de práticas como a rotação de culturas e o sistema de plantio direto (BAYER et al., 2014; IPCC, 2014).

No Brasil, as principais emissões de GEE provêm da mudança do uso da terra e florestas, representando aproximadamente 42% das emissões líquidas totais de CO₂ e o subsetor agricultura com 2,3%, de acordo com o reportado pela 3ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2016), sendo os gases mais comumente gerados nesse subsetor o CO₂, CH₄ e N₂O. Ressalta-se que, o Brasil possui 852 milhões de hectares de extensão (IBGE, 2016) e atualmente 64 milhões hectares (7,6%) encontram-se sobre exploração agropecuária e florestal, apresentando, pois, importante contribuição à emissão de GEE, influenciando as mudanças climáticas.

Os GEE CO₂, CH₄ e N₂O, são responsáveis por 99% das emissões totais brutas brasileiras, sendo 69% na forma de CO₂ e 20%, como CH₄, tendo como principais fontes a queima de combustíveis fósseis, mudanças de uso da terra, pecuária e tratamento de resíduos. O N₂O representa 10% das emissões totais brutas em CO₂ equivalente, estando associado principalmente à aplicação de adubos orgânicos, dejetos animais e fertilizantes nitrogenados minerais (SEEG, 2016b).

O Rio Grande do Sul (RS), estado onde foi realizado o presente estudo, é um dos maiores emissores de GEE do Brasil, uma vez que se dedica fortemente à atividade agropecuária, respondendo por uma fração significativa da produção agrícola do país. Além disso, no RS existem grandes extensões de terras baixas,

favorecendo a produção de CH₄, pela drenagem natural deficiente e consequente alagamento do solo em pelo menos alguns períodos do ano, restringindo seu uso agrícola (BUSS, 2016). Em decorrência, a produção de arroz irrigado constitui-se na principal atividade produtiva das terras baixas do Rio Grande do Sul.

Todavia, existem formas de utilização das terras baixas que possibilitam o maior aproveitamento de seu potencial produtivo, de forma rentável e, ao mesmo tempo, capaz de reduzir as emissões de GEE. O arroz irrigado pode ser cultivado em sistemas de rotações/sucessões de culturas, alternado com pecuária extensiva, onde a implementação de cultivos de sequeiro é feita com adequados sistemas de drenagem superficial do terreno, fertilização dos cultivos de acordo com a recomendação e o manejo do pastejo, que juntos contribuem com a sustentabilidade dos modelos de produção (BALBINO et al., 2012; BRUNES e COUTO, 2017).

Nas terras baixas da região costeira de RS com prevalência de planícies, tem-se proposto a inclusão de camalhões de base larga para atenuar o problema da má drenagem natural, permitindo a produção de cultivos de sequeiro com desempenho satisfatório nessas áreas. Também existe a técnica de sulco-camalhão, que possibilita a utilização de irrigação por sulcos em períodos de estiagem e viabiliza a rotação do arroz com outras culturas, frente aos riscos de condições de alagamento que prejudicam o desenvolvimento das culturas de sequeiro (SILVA et al., 2006; SILVA e PARFITT, 2004). É importante, pois, estimar as emissões reais produzidas nas áreas de terras baixas, sob diferentes sistemas de produção, manejo do solo e fatores determinantes da dinâmica dos GEE. Nesse sentido, na região Sul do Brasil é preciso avaliar as emissões de gases em distintos sistemas de produção e de rotação de culturas, particularmente os que compõem os modelos de rotação milho/soja sobre sistema de camalhões de base larga em plantio direto (PD), cultivo de arroz irrigado estruturado no sistema convencional (SC) com pousio na entressafra e sistemas de pastagem melhorada com pecuária extensiva. O objetivo deste estudo foi avaliar as emissões de GEE em sistemas de produção representativos e de área natural de terras baixas, visando identificar sistemas com potencial mitigador de emissões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A agricultura tem expressiva importância na emissão de GEE, os quais são os principais causadores das mudanças climáticas.

2.1. Gases de Efeito Estufa

O fluxo constante de energia solar que adentra na atmosfera da terra através de luz visível é o principal responsável pelo regulamento do clima, onde parte da energia é refletida pela superfície da terra na forma de radiação infravermelha. Cabe destacar que dentro da atmosfera existem GEE, como o vapor d'água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e ozônio (O₃), que são essenciais para a vida no planeta e contribuem para a manutenção da temperatura média da terra. Além disso, esses gases têm a capacidade de bloquear uma parte da radiação infravermelha (BRASIL, 2016).

Entretanto, a partir da revolução industrial, os impactos sobre o clima causados pela atividade humana, têm-se intensificado significativamente, ocasionando mudanças climáticas, devido ao aumento da concentração de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) e à exploração dos recursos naturais, provocando efeitos nos ciclos da água e do carbono, desertificação e perda de biodiversidade (BERCHIN et al., 2015; BRASIL, 2016).

Nos últimos anos, o termo “mudanças climáticas” vem ganhando relevância, sendo conhecido como as alterações no clima identificadas pelas mudanças e/ou na variabilidade de suas propriedades, persistindo por um período prolongado, tipicamente décadas ou mais. Essas alterações podem ser mensuradas mediante métodos estatísticos, como a análise de frequência, magnitude, persistência e tendência de variáveis como temperatura, precipitação e vento (BERCHIN et al., 2015; VERMEULEN et al., 2012).

No contexto mundial a preocupação dos acordos internacionais e interesses políticos sobre as mudanças climáticas busca evitar o aumento da temperatura média do planeta em dois graus acima dos níveis em relação à era pré-industrial, tendo como alvo valores significativamente mais baixos das emissões de gases de efeito estufa (BEDDINGTON et al., 2012; BRYAN et al., 2013).

Políticas de mitigação de GEE, como o Protocolo de Kyoto em vigência desde o ano de 2005, focam principalmente em seis tipos de gases: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆) (ROSE et al., 2014); por outro lado, os gases: clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), tetracloretos de carbono (CTCs) e halons são considerados no âmbito do Protocolo de Montreal, outro documento relativo às políticas de mitigação de GEE (BRASIL, 2016).

O aumento da concentração dos GEE mencionados pode afetar o balanço radiativo da terra (equilíbrio entre a energia radiante recebida pela terra e a energia reirradiada para o espaço “albedo”) (BRASIL, 2016; BRYAN et al., 2013), alterando o clima no planeta (forçamento radiativo global), pelo aumento das temperaturas médias globais, alteração do regime de precipitações e outras mudanças relacionadas ao clima, que ameaçam a produção agrícola e a segurança alimentar (BRASIL, 2016; BRYAN et al., 2013; IPCC, 2014; ROSE et al., 2014).

Entre os GEE o CO₂ é considerado o mais abundante e de maior aporte para o incremento do aquecimento global. Normalmente, as emissões de GEE se contabilizam como emissões de CO₂-equivalente (kg CO₂-equiv.) expressando-se em valores que são ponderados mediante o potencial de aquecimento com tempo de permanência de 100 anos (IPCC, 2014).

A proporção de potencial de aquecimento dos GEE de maior interesse, expressa em CO₂ eq., estima que 1 kg de CH₄ é equivalente a 25 kg de CO₂ e 1 kg de N₂O equivale a 298 kg de CO₂. Embora esses GEE sejam emitidos em quantidades relativamente pequenas, adquirem maior importância pela elevada capacidade de gerar efeito estufa (FORSTER et al., 2007; RAMIRES, 2014).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) pesquisa as emissões produzidas pelas atividades humanas, formando grupos de trabalho especializado em distintas áreas para a avaliação sistemática e classificação das

atividades em: 1) Energia; 2) Processos Industriais e Uso de Produtos; 3) Agricultura, Desmatamento e outros Usos da Terra e 4) Resíduos. São bastante relevantes as atividades dos setores Energia e Processos Industriais, que são os maiores emissores globais de gases provenientes da exploração de recursos não renováveis (GONZÁLEZ e CARLSSON-KANYAMA, 2007).

Além disso, tem-se conhecimento que os países desenvolvidos são os principais contribuintes das altas concentrações de GEE na atmosfera, entretanto, as estimativas de emissões de GEE realizadas nos países em desenvolvimento, principalmente os localizados nas regiões tropicais, indicam que esses também apresentam contribuição significativa para as emissões do planeta, devido principalmente às condições climáticas dessa região que potencializam as emissões, contribuindo ao forçamento radiativo global (PRIMAVESI et al., 2004).

2.2 Setores produtores e proporções de gases em nível mundial e no Brasil

O sistema de produção de alimentos no mundo, que inclui a produção agrícola e pecuária, é responsável por um terço das emissões totais atuais de GEE de origem antrópica (VERMEULEN et al. 2012). Durante a década de 1990, a mudança no uso da terra, com a conversão de extensas áreas florestais ricas em carbono em terras cultiváveis, foi o principal fator contribuinte para o aumento das emissões de GEE no planeta (HOUGHTON et al., 2012).

À medida que a demanda de alimentos aumentou, simultaneamente ao aumento no rendimento das culturas, estratégias para a redução das emissões de GEE na agricultura começaram a ser requeridas, as quais foram orientadas para a identificação de práticas de manejo de culturas com potencial mitigador de emissões de GEE (BRYAN et al., 2013; CARLSON et al., 2016).

Diante disto, as negociações internacionais feitas pela Convenção-Marco das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) têm estado focadas em dar suporte ao setor de Agricultura dos países em desenvolvimento, procurando estratégias que contribuam tanto para a adaptação às mudanças climáticas, como para a mitigação das emissões de GEE (BEDDINGTON et al., 2012; OGLE et al., 2014).

Com esse respeito, os países desenvolvidos têm expressado seu apoio, adotando novas práticas e tecnologias, visando incrementar a mitigação de

emissões de GEE, como o sistema plantio direto, uso de plantas de cobertura, melhoria de práticas pecuárias, captação de água, sistemas agroflorestais e o manejo eficiente da água e de nutrientes, uma vez que esses podem favorecer o sequestro de carbono do solo, aumentando a produtividade agrícola, rentabilidade e a resiliência às mudanças climáticas (BRYAN et al., 2013), além de oferecer pagamentos para a implementação de tais estratégias.

Não obstante, apesar dos apoios financeiros, os países em desenvolvimento têm visto as técnicas de mitigação como uma barreira ao aumento da produção de alimentos (OGLE et al., 2014). Cabe salientar que, de acordo com projeções realizadas pelas comunidades científicas de diferentes partes do mundo, os setores agrícola e pecuário terão o maior impacto sobre o incremento da temperatura da Terra, indicando que a produtividade agropecuária diminuirá em algumas regiões e aumentará em outras (APAZA et al., 2012).

Em escala global, 40-50% da superfície continental são destinados ao setor agrícola para sustento alimentar, produção de bioenergia e áreas agroflorestais (BERCHIN et al., 2015), as quais são as principais atividades contribuintes de GEE desse setor.

Estudos realizados por Carlson et al. (2016) avaliando as estimativas de emissões de GEE mundiais e os efeitos do manejo de arroz, da drenagem de turfeiras e do uso de fertilizantes nitrogenados (Figura 1) mostram que cerca de 48% das estimativas estão associadas ao arroz irrigado, 32% ao cultivo em áreas de turfeiras e 20% à aplicação de fertilizantes, para um total de 1994 ± 2172 Tg equiv. CO₂ (média \pm desvio padrão), concentrando-se na Ásia (China, Indonésia e Índia), com 51% das emissões totais.

Na América do sul, as principais emissões de GEE estão na faixa de 0-10 Mg equiv. CO₂ ano⁻¹, sendo os valores máximos da ordem de 100-1000 Mg equiv. CO₂, para as regiões Norte (Colômbia e Venezuela) e região Sul do Brasil (Figura 1), reconhecidas como grandes produtoras de arroz irrigado.

O Brasil mostra-se como um importante contribuinte para a emissão de GEE e mudanças climáticas, ocupando um lugar de destaque no sétimo lugar entre os países que emitem GEE no mundo no ano 2016 (SEEG, 2017a).

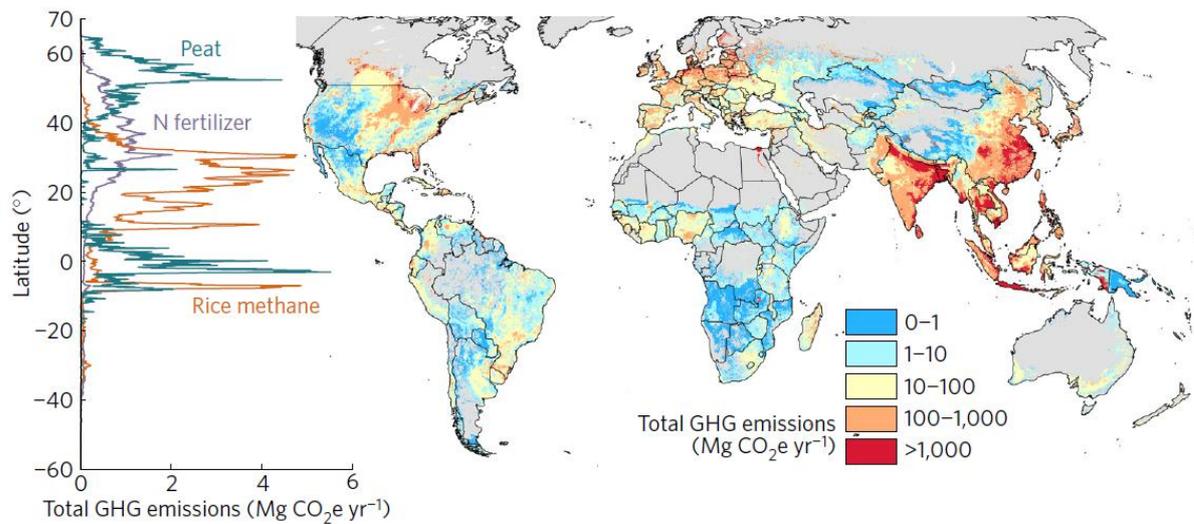


Figura 1. Distribuição global de GEE, emitidos pelas terras agrícolas no ano de 2000 para 172 culturas (CH_4 de cultivo de arroz, CO_2 , N_2O e CH_4 de drenagem de turfeiras (organossolos), e N_2O de aplicação de fertilizantes nitrogenados) (Fonte: CARLSON et al., 2016).

Considerando-se as emissões totais de GEE do Brasil no ano de 2015, onde se emitiram 1927 Mt equiv. CO_2 , houve um acréscimo do 3,5% em relação ao estimado para o ano de 2014 (SEEG, 2016a). Em relação à participação das emissões brasileiras nas emissões globais, entre os períodos de 1990-2014, houve acréscimos de 4% para 5%, independentemente das reduções atingidas nas emissões totais de GEE em todo o mundo.

Cabe destacar que o Brasil permanece com tendência de crescimento nas emissões em todos os setores analisados subindo 8,9% em 2016 em comparação com o ano 2015, sobressaindo as emissões por mudanças uso da terra que cresceram 23% por causa no descontrole do desmatamento na Amazônia, emitindo 218 milhões de toneladas de CO_2 a mais do que em 2015 (SEEG, 2017a).

Avaliando-se por setores econômicos, as emissões brutas de GEE brasileiras do setor de agricultura (uso de fertilizantes, manejo de dejetos animais, fermentação entérica, arroz irrigado, dentre outras) representaram a terceira maior fonte de emissões, correspondendo a 23% do total das emissões brasileiras no ano 2014, em comparação com o setor industrial, que respondeu por 5%, e o setor de energia, com 26%, das emissões. Subdividindo-se as emissões dos subsectores agricultura e pecuária, ressalta-se que 84% foram emitidos pela produção animal, 7% produção vegetal, 8% aplicação de fertilizantes nitrogenados e 1% de outras fontes, tendo em conta CO_2 , CH_4 e N_2O (SEEG, 2016b).

Esses três gases representam 99% das emissões brutas brasileiras quando convertidos em CO₂ equivalente, sendo 69% como CO₂ e 20% como CH₄, tendo como principais fontes a produção pecuária, produção agrícola e o tratamento de resíduos. O N₂O representa 10% das emissões brutas em CO₂ equiv., sendo proveniente, principalmente, da adubação orgânica, uso de dejetos animais e de fertilizantes nitrogenados minerais (BASTOS, 2014; SEEG, 2016b).

Algumas regiões brasileiras apresentam padrão próprio de emissão de gases em função de suas peculiaridades. Um exemplo disso é a região Sul do Brasil, particularmente o Estado do Rio Grande do Sul, onde o cultivo do arroz irrigado e a pecuária representam a principal fonte de emissão de CH₄ e as aplicações de fertilizantes nitrogenados representam as maiores emissões de N₂O (ZSCHORNACK, 2011).

2.3. Produção de arroz e emissão de gases de efeito estufa em áreas irrigadas

O arroz (*Oryza sativa*) é um alimento básico para quase a metade da população global, projetando-se aumento considerável de sua demanda nos próximos anos (CARLSON et al., 2016). De acordo com inventário realizado em Brasil (2016), o arroz pode ser cultivado em diferentes sistemas de suprimento de água:

- Arroz de sequeiro ou terras altas: ausência de inundação e irrigação dependente da precipitação pluvial para o desenvolvimento.
- Arroz cultivado em áreas irrigadas sem necessidade de lâmina d'água.
- Arroz cultivado em condições de terras baixas: áreas com inundação do solo, porém sem controle da irrigação.
- Arroz irrigado por inundação: áreas com regime controlado da lamina d'água durante períodos prolongados ao longo do ciclo do cultivo.

Nos sistemas de produção de arroz irrigado por inundação, o alagamento do solo condiciona a decomposição microbiana de materiais orgânicos em condições anaeróbias, favorecendo a produção e emissão de CH₄ (BRASIL, 2016; SCIVITTARO et al., 2015b).

As estimativas das emissões mundiais demonstram que o solo alagado para o cultivo de arroz é uma das principais fontes de CH₄, correspondendo a 912 ± 2170

Tg equiv. CO₂ (media ± desvio padrão); os principais países produtores são Índia, China e Vietnam (CARLSON et al., 2016).

O Brasil participa com 79,3% da produção de arroz do Mercosul com uma produção anual, entre 11-13 milhões de toneladas na média das safras de 2008/2009 até 2014/2015 (SOSBAI, 2016). O cultivo de arroz no Brasil desenvolve-se em áreas inundadas (arroz irrigado) e secas (arroz de sequeiro), predominando o arroz irrigado, tornando essa atividade agrícola importante nas emissões totais de CH₄ (SEEG, 2017b).

O Rio Grande do Sul é o principal produtor nacional de arroz. Anualmente são cultivados mais de um milhão de hectares com a cultura, respondendo por 70% da produção brasileira do cereal. O Estado apresenta a maior produtividade média de arroz, atingindo 7.893 kg ha⁻¹ na safra 2016/2017 (CONAB, 2017), devido à utilização de irrigação por inundação, ao alto potencial produtivo de cultivares e alto nível tecnológico empregado nas lavouras (SCIVITTARO et al., 2015a; SOSBAI, 2016). O sistema de produção de arroz irrigado mais utilizado no Estado é o cultivo mínimo (preparo antecipado de verão ou no outono, com semeadura direta do arroz na primavera). Normalmente, o arroz integra o sistema arroz/pousio ou é sucedido por pastagens cultivadas no inverno, associada à pecuária de corte (GONÇALVES et al., 2017; SCHOENFELD, 2010; SOSBAI, 2016).

A produção de arroz nas terras baixas no RS caracteriza-se pela elevada tecnificação, com o uso de quantidades relativamente elevadas de fertilizantes minerais e agrotóxicos, uso de mecanização pesada, bem como pela irrigação por inundação do solo, refletindo-se em emissões elevadas de GEE (BRASIL, 2016; GONÇALVES et al., 2017). A cultura de arroz irrigado ocupa a primeira posição do ranking nacional de emissões de CH₄ (ABC, 2015).

Os fatores que influenciam as emissões de CH₄ em uma lavoura de arroz são, também, os que interferem no crescimento da planta, já que o maior desenvolvimento da parte aérea e raízes das plantas proporciona normalmente maior produção de substratos orgânicos para a metanogênese. Dentre tais fatores incluem-se a temperatura, radiação solar, adubação, cultivar e atributos de solo e práticas de manejo (BRASIL, 2016; IPCC, 2014; MATTEWS e WASSMANN, 2003). Exemplo disto é a correlação positiva encontrada entre a temperatura e o transporte de CH₄ à atmosfera através do aerênquima da planta de arroz. Por outro lado, as

baixas temperaturas do solo reduzem a atividade dos microrganismos e, em consequência, a emissão de CH₄. Somado à atividade dos microrganismos, os eventos de precipitação em conjunto com a temperatura podem influenciar a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (CAMARGO, 2015). Parâmetros fisiológicos e morfológicos da planta de arroz também podem influenciar os fluxos de CH₄, em especial o número de perfilhos, tamanho do aerênquima, exsudação radicular, volume e porosidade de raízes. Quando a magnitude desses parâmetros diminui, ocorrem menores taxas de emissão de CH₄ (BAYER et al., 2011).

Dentre os manejos e técnicas implementados nas áreas de produção de arroz, a drenagem permite a entrada esporádica de oxigênio promovendo a areação do solo, mitigando significativamente a emissão de CH₄, pela ausência de condições anaeróbias (precursora da metanogênese); em contrapartida, favorecem a produção de N₂O (ZSCHORNACK et al., 2016a). No caso da adição de material orgânico com alta relação C/N em cultivos de arroz irrigado, esse pode estimular as emissões de CH₄, por proporcionar maior disponibilidade de carbono (total e lábil) no solo, servindo como substrato aos microrganismos metanogênicos. Além disso, a adição de material orgânico favorece a diminuição do potencial redox do solo, acelerando a redução de íons inorgânicos oxidados (NO₃⁻, Mn⁴⁺, Fe³⁺ e SO₄²⁻) (KIM et al., 2012; ZSCHORNACK et al., 2016a).

O revolvimento da camada arável do solo leva os resíduos e exsudatos radiculares a zonas mais profundas e reduzidas no solo, aumentando a disponibilidade de carbono orgânico, que propicia condições favoráveis à maior produção e emissão de CH₄ (ALVES, 2016; BAYER et al., 2011).

O CH₄ produzido em condições de solo alagado pode ser liberado à atmosfera por meio de três vias: (a) borbulhamento na água de inundação (ebulição); (b) difusão através da lâmina de água de irrigação e (c) difusão direta através dos tecidos aerênquima das plantas de arroz durante o período de crescimento. A difusão ocorrida pelo aerênquima da planta de arroz é a mais importante via de liberação de CH₄, contribuindo com até 90% da liberação desse GEE em cultivos de arroz; as emissões variam com o estágio fenológico, taxa de fotossíntese e a respiração das plantas (BAETHGEN e MARTINO, 2001; VEÇOZZI, 2015).

A inundação contínua do solo visando a manutenção da lâmina de água nas áreas cultivadas com arroz influencia as condições autóctones, principalmente os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Quando o solo   inundado, o ambiente que apresentava condição oxidante torna-se reduzido, em razão do deslocamento do ar dos poros do solo pela água, diminuindo a concentração de oxig nio (O_2). Sob baixo suprimento de oxig nio, a atividade biológica é alterada, proliferando-se as bactérias anaeróbicas facultativas e obrigatórias, as quais utilizam, como receptores de elétrons, compostos inorgânicos, como o nitrato, manganês, ferro e sulfato. Na ausência de compostos inorgânicos, os microrganismos fermentadores utilizam os compostos orgânicos complexos como novos receptores de elétrons, quebrando-os em compostos mais simples de cadeia curta e baixo peso molecular, mediante os processos de acidog nese, acetog nese e metanogênese, gerando, como produtos finais, etanol, acetato, H_2 , N_2 , CO_2 e CH_4 . Conjuntamente, existem outras vias de produção de CH_4 , como a redução do CO_2 , a qual ocorre na presenç a do hidrog nio molecular, ácidos graxos ou álcool, e a clivagem do acetato ou álcool met lico pelos microrganismos produtores de CH_4 (BAETHGEN e MARTINO, 2001; CAMARGO, 2015). Nessas condições de decomposição, um dos fatores limitantes e determinantes do processo biológico de produção de CH_4 é a temperatura, a qual tem correlação com a atividade microbiana, emitindo maior quantidade de CH_4 em temperaturas máximas de $40^\circ C$ (BAETHGEN e MARTINO, 2001).

Por outro lado as emissões de N_2O acontecem de forma natural em taxas muito baixas no cultivo do arroz irrigado por inundação contínua, devido à ausência de condições oxidadas nos solos alagados. O alagamento cria condições anaeróbicas que propiciam a redução das concentrações de NO_3^- no solo, devido a seu consumo pelos microrganismos desnitrificadores, ocorrendo a redução do N_2O para N_2 , explicando assim as baixas emissões e influxos do N_2O sob condições de alagamento (ZSCHORNACK et al., 2016a). Contudo, o uso de fertilizantes nitrogenados no cultivo do arroz é a principal fonte de nitrogênio, que podem potencializar as emissões de N_2O (VEÇOZZI, 2015). No cultivo do arroz, a ureia é o fertilizante mais utilizado como fonte de nitrogênio. O nitrogênio aplicado pode ser absorvido pelas plantas ou transformado no solo alagado pelos microrganismos, mediante os processos de nitrificação e desnitrificação e ser emitido   atmosfera

como N₂O, NO e N₂O (KETTUNEN, 2007). Porém, independentemente do tipo de fertilizante, seja na forma amídica ou amoniacal, este pode aumentar a emissão de N₂O conforme aumenta a dose de adubo nitrogenado e principalmente com realização de drenagens (BUSS, 2016; VEÇOZZI, 2015).

2.4. Sistemas de rotações de culturas, espécies de coberturas e práticas de manejo em relação às emissões de GEE

O uso de espécies de cobertura, sistemas de rotação de culturas e boas práticas de manejo contribuem para a redução da ocorrência de plantas daninhas, controle de doenças e o aumento da produtividade e sustentabilidade da lavoura subsequente, melhorando a fertilidade do solo, ciclando nutrientes e reduzindo a necessidade de adubação (SCHOENFELD, 2010). No entanto, as áreas de terras baixas apresentam limitações à implementação e adaptação de sistemas diversificados de produção agrícola em razão da má drenagem do solo e da pouca disponibilidade de espécies tolerantes às condições de excesso hídrico.

2.4.1. Produção de milho, soja e pastagens e emissão de gases

Os sistemas agrícolas predominantes no Brasil são os que envolvem cultivos de grãos, como milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) e arroz durante o período da safra, podendo ser utilizado para a produção de pastagens durante a entressafra para a alimentação animal, ou ainda, mantendo a área em pousio nessa fase, quando se estabelece flora de sucessão.

O manejo do solo no plantio, os tratos culturais e uso de insumos durante a produção de grãos são as principais fontes de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O para atmosfera em tais sistemas (BRASIL, 2016).

O cultivo de milho em diversas regiões do Brasil apresenta elevado potencial de produtividade. No entanto, a produtividade média da cultura ainda é baixa, atingido 5.561 kg ha⁻¹ na safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

No RS, o uso de cultivos de sequeiro em terras baixas, diversifica a matriz produtiva, possibilitando maior produtividade de grãos. Entretanto, o milho é bastante sensível ao excesso de água no solo, manifestando maior rendimento de grãos sob manejo eficiente da água superficial (drenagem e irrigação) (GOMES et al., 2002). A inclusão da cultura do milho nos sistemas de rotação em terras baixas é

importante para o incremento do conteúdo de matéria orgânica e carbono em profundidade no solo, visto que apresenta sistema radicular profundo (BAYER et al., 2011), podendo ser uma cultura que contribui com a mitigação de emissões de GEE, devido a seu potencial de acúmulo de carbono e à alta demanda de nitrogênio (GRUTZMCHER, 2016; ROY et al., 2014).

Estudos realizados por Gomes (2006) em áreas de cultivo de milho adubado com fertilizante nitrogenado mineral apresentaram emissões de N₂O três vezes superiores comparativamente àquelas em que o N foi fornecido pela incorporação de resíduos de ervilhaca, apesar da incorporação de biomassa favorecer a mineralização do N e, por conseguinte, as emissões de N₂O do solo.

A maior emissão de N₂O em cultivos de milho também foi confirmada por Parkin e Kaspar (2006), devido à maior disponibilidade de N, proveniente do fertilizante mineral em relação às áreas implantadas com soja. A aplicação de fertilizantes nitrogenados inorgânicos ao solo é considerada a principal fonte de N₂O do solo. Exemplo disso é o ocorrido no Leste do Canadá, onde o milho é a principal espécie cultivada, e grande parte das emissões de GEE é devida ao aporte de fertilizantes nitrogenados (34% oriundo do solo e 13%, da produção e suprimento de fertilizantes minerais) (ROY et al., 2014).

A soja é uma das principais culturas no Brasil, apresentando grande relevância econômica para as distintas regiões. Apesar das chuvas irregulares e estiagens prolongadas, a produção de soja é crescente no país devido ao aumento das condições propícias para o desenvolvimento da soja, incrementando-se assim as áreas de plantio e a sua produtividade na região Sul. Especificamente na metade Sul do RS existem áreas de terras baixas, sujeitas à inundação temporária e tradicionalmente utilizadas no cultivo de arroz irrigado, onde há alguns anos começou a ser cultivado soja, ocupando, atualmente, cerca de 300 mil hectares anualmente, demandando ações de pesquisa para viabilizar a produção, assim como das culturas de milho e sorgo (CONAB, 2017; LARA JUNIOR, 2013; SOSBAI, 2016).

A cultura da soja vem sendo cultivada em terras baixas como componente de sistema de rotação de culturas com o arroz irrigado. No entanto, a expansão do cultivo tem sido limitada pelos baixos rendimentos ocasionados normalmente pelo estresse hídrico (excesso e déficit). A soja é uma opção favorável para rotação com

o arroz, especialmente por contribuir para a renda da propriedade, auxiliar no controle de plantas daninhas, além de melhorar as condições dos solos pelo aporte de nitrogênio originado da fixação biológica e reciclagem de nutrientes (LARA JUNIOR, 2013).

A adição de resíduos de leguminosas, como a soja, ao solo ocasiona aumento na emissão de N_2O , relacionado com a composição química desses resíduos que possuem teor elevado de nitrogênio (N) e baixo de lignina e polifenóis, permitindo maiores taxas de mineralização do N, culminando em condições favoráveis para a intensificação da emissão de N_2O . Por outro lado, as leguminosas, ao acrescentarem N via fixação simbiótica, reduzem ou eliminam a necessidade na aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais, que poderia aumentar ainda mais as emissões de N_2O . Desta forma, a redução no uso de fertilizantes minerais apresenta vantagens econômicas e ambientais, diminuindo o risco de poluição ambiental (BAYER et al., 2011; JANTALIA et al., 2008).

As emissões de N_2O decorrem de sua produção natural no solo, mediante duas reações intermediadas por microrganismos (nitrificação e desnitrificação). A nitrificação é a oxidação do amônio (NH_4^+) para a forma de nitrato (NO_3^-) e a desnitrificação é a redução de nitrato (NO_3^-) a N_2O e N_2 . A nitrificação se divide em duas etapas: a nitritação, na qual o NH_4^+ é convertido à nitrito (NO_2^-), pela ação de bactérias *Nitrosomonas*, e a nitração, onde o NO_2^- proveniente da etapa anterior é oxidado a NO_3^- pela ação de bactérias do gênero *Nitrobacter* (CARDOSO, 2012; MAJUMDAR, 2005; NETO, 2008). A desnitrificação consiste em processo de respiração anaeróbia, tendo como receptor de elétrons o NO_3^- , o qual é reduzido a compostos inorgânicos (NO , N_2O ou N_2) por bactérias desnitrificantes (*Pseudomonas*) (Figura 2), sendo perdidos por volatilização para atmosfera (FIRESTONE e DAVIDSON, 1989; NETO, 2008). Os processos de nitrificação e desnitrificação apresentam relação íntima obrigatória, devido ao fato de a desnitrificação precisar de nitrato produzido pela nitrificação e esta necessita do NH_4^+ mineralizado (KETTUNEN, 2007).

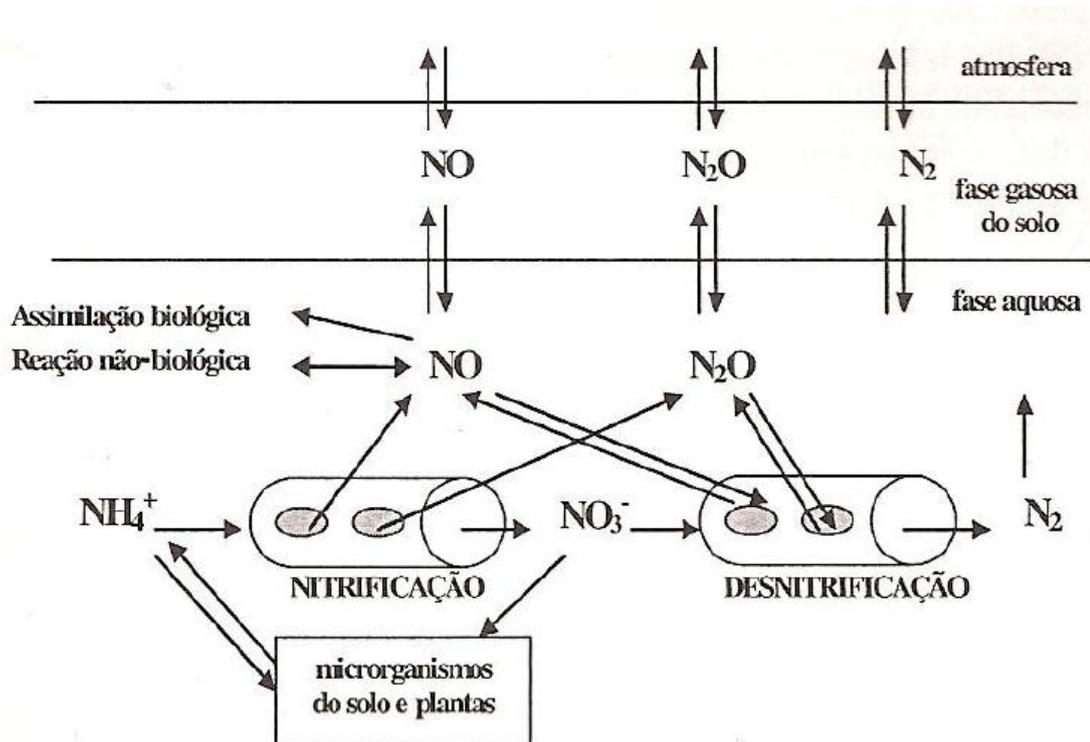


Figura 2. Modelo conceitual de emissão de NO, N₂O e N₂ (Fonte: CARDOSO, 2012)

Nos sistemas agropecuários envolvendo pastagens cultivadas podem ocorrer dois efeitos antagônicos: por um lado, o uso de N mineral, alta lotação pecuária e dejetos animais, representam fontes potenciais de emissões de N₂O e CH₄ (SOUSSANA et al., 2007). E, por outro, a incorporação de carbono nas plantas forrageiras no solo, além da inclusão de leguminosas, mostra-se como práticas promissora de mitigação de GEE, sendo esse efeito maior em solos não degradados (CARDOSO, 2012; PAULINHO e TEIXEIRA, 2009).

As áreas de pastagem podem apresentar aumentos nas emissões de N₂O devido à presença de animais que depositam urina e esterco durante o pastejo (SHIRMANN, 2016). Além disso, a presença de pecuária faz aumentar a utilização de fertilizantes nitrogenados necessários para manter a produtividade do solo e obter pastagens de melhor qualidade para a alimentação (CARDOSO, 2012; RAFIQUE et al., 2011). Não obstante a compactação do solo pela pecuária em conjunto com a adição de fezes são responsáveis do aumento da atividade metanogênica nos solos de pastagem (PREM et al., 2014; SCHIRMANN, 2016). A deposição irregular de esterco rico em nitrogênio por pastoreio de animais também pode resultar em “hotspots” equivalentes a uma aplicação de 400-200 kg N ha⁻¹ ano⁻¹

¹ na pequena área afetada, contribuindo com amplas variações espaciais e de magnitude nas emissões de N₂O (RAFIQUE et al., 2011; WATSON e FOY, 2001).

Em relação ao CH₄, as áreas com pastoreio extensivo ou moderado podem contribuir com maiores taxas de consumo de CH₄ pelo solo, por causa do desenvolvimento dos microrganismos metanotróficos, diante do maior crescimento da zona radicular das plantas ocasionado pelo pastejo, uma vez acontecida a senescência das raízes pode acontecer uma maior aeração do solo (WANG et al., 2015; SCHIRMANN, 2016). Por outro lado, autores como Chen et al. (2011) e Tang et al. (2013) encontraram reduções nas taxas de consumo de CH₄ (oxidação) tanto nas áreas de pastejo moderado como nas áreas de pastejo intensivo.

Os sistemas de pastagem com pecuária intensiva podem desenvolver condições que reduzem a oxidação do CH₄ (absorção pelo solo), entre os fatores e efeitos que reduzem esse processo encontram-se: 1) O solo compactado reduz a capacidade de difusão do CH₄ e O₂ (substratos das bactérias metanotróficas); 2) a adição de fezes no solo serve como fonte de metano (contrabalancearia o consumo de metano no solo); e 3) Ocorrência de modificações na população de microrganismos metanotróficos no solo (PREM et al., 2014; SCHIRMANN, 2016).

Conjuntamente o aumento das taxas de sequestro de carbono no solo com pastagens, pode dar-se pela implementação de diferentes técnicas agrícolas como, o manejo adequado do pastejo, a eficiência na fertilização, o uso de espécies produtivas, a conversão de sistemas de cultivos agrícolas intensivos em pastagens permanentes, a inclusão de leguminosas e a irrigação adequada (BRAGA, 2010; CARDOSO, 2012).

2.4.2. Efeito dos sistemas de cultivos agrícolas e práticas de manejo do solo nas emissões de gases de efeito estufa

As interrelações existentes em sistemas integrados de cultivo entre os compartimentos solo, planta e animal ocasionam aumento nos estoques de carbono no solo, que podem contribuir para a redução nas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, garantindo sustentabilidade ao sistema, em conjunto com a aplicação de outras práticas de manejo nesses sistemas (BASTOS, 2014). Além dessas práticas agrícolas influenciarem nos fluxos de GEE do solo, as emissões

também são dependentes das condições climáticas sazonais de cada região, podendo contribuir significativamente para as emissões (ALCALDE, 2011).

2.4.2.1. Sistema plantio direto

O sistema plantio direto (SPD) é fundamentado nos princípios de mínima movimentação do solo, cobertura permanente do solo e na prática de rotação de culturas, que viabilizam a conservação do solo (SCHOENFELD, 2010). Respeitados esses princípios o SPD melhora a qualidade do solo, aumenta o teor de matéria orgânica, aumenta a disponibilidade de água e nutrientes e diminui as perdas de solo por erosão. Em decorrência constitui-se em importante forma de mitigação de emissões de GEE (BAYER et al., 2011).

O SPD com inclusão de leguminosas contribui para a eficiência da adubação e fixação biológica de nitrogênio, por promover acúmulo de carbono no solo, produto da liberação lenta do nitrogênio dos resíduos na superfície, reduzindo, ainda, o uso de fertilizantes nitrogenados minerais e melhorando a produtividade das culturas (BERCHIN et al., 2015; ROSA et al., 2011b). Solos em SPD apresentam maior estoque de carbono que solos em plantio convencional, pois o carbono orgânico está mais protegido do ataque microbiano no interior dos agregados, evitando assim a rápida decomposição e, conseqüentemente, emissão de GEE (SCHOENFELD, 2010).

Sob plantio direto, a produção e emissão de CH_4 em solos alagados, em geral, é menor, devido à menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais. Além disso, a maior concentração de raízes nas camadas superficiais do solo gera zonas mais ácidas e oxidadas devido à liberação de O_2 . Essas condições acarretam menor produção de compostos orgânicos, em razão de as raízes encontrarem-se nas zonas menos reduzidas com valores de Eh mais altos, que impedem a metanogênese e, portanto, a emissão de CH_4 (BAYER et al., 2011; COSTA, 2005).

Em contrapartida, em solo não alagado, o SPD proporciona aumento da emissão de N_2O , pela presença de maior quantidade de microrganismos desnitrificadores, decorrente do maior adensamento do solo pelo não revolvimento, presença de áreas com maior conteúdo de água e demais fatores que diminuem a difusão de O_2 no solo, favorecendo a desnitrificação (CAMARGO, 2015).

2.4.2.2. Sistema convencional

O sistema convencional de cultivo caracteriza-se pela intensa atividade de máquinas agrícolas para o preparo do solo, que podem levar a sua degradação, principalmente pela diminuição do carbono orgânico do solo e a degradação de seus atributos físicos.

O preparo convencional do solo destrói parte importante da estrutura de agregados do solo, expondo grande parte do carbono orgânico lábil protegido em seu interior da decomposição microbiana (LAMAGUTI et al., 2015; MOITINHO et al., 2013). Esse processo também acelera a mineralização do N proveniente dos resíduos de palha incorporados, favorecendo as emissões de N₂O em curto prazo (ALCALDE, 2011). O efeito da mineralização é dependente da qualidade do resíduo vegetal incorporado ao solo particularmente em função da relação C/N (ZANATTA, 2009).

2.4.2.3. Sistema de camalhões de base larga

Os camalhões de base larga são construídos com base em modelo holandês, com a finalidade de atenuar os problemas de má drenagem natural do solo (SILVA et al., 2006). A estruturação e construção dos camalhões são realizadas invertendo-se as leivas de forma convergente para o centro do camalhão e o comprimento é orientado no sentido da maior declividade predominante do terreno (SILVA et al., 2002; SILVA et al., 2006).

O sistema de drenagem ocorre através do escoamento da água a partir da superfície cultivada em direção aos sulcos longitudinais dos camalhões e destes para fora da área pelos drenos coletores, em caso de excesso hídrico em condições de altas precipitações (SILVA et al., 2006), além de favorecerem a irrigação por superfície para suprir as necessidades hídricas das plantas (FIORIN et al., 2009; SILVA e PARFITT, 2004).

Os camalhões instalados em terras baixas apresentam-se como uma alternativa viável para cultivos de sequeiro, contribuindo com a drenagem do solo e favorecendo a sua oxigenação e a ocorrência do processo de nitrificação, gerando nitrato (FIORIN et al., 2009).

Atualmente ainda não existem resultados de pesquisa sobre a dinâmica de gases de efeito estufa em sistemas de cultivos estabelecidos em camalhões de base

larga. Porém, acredita-se que, em períodos de alta precipitação, o solo nos camalhões atinja condições de saturação, e os sulcos de drenagem sejam preenchidos pelo excesso de chuvas, contribuindo assim com condições favoráveis para o processo de desnitrificação, no qual se tem como produto intermediário a formação de N_2O , posteriormente sendo emitido à atmosfera. Os fluxos de N_2O têm a possibilidade de ser influenciados pela altura e forma dos camalhões nas áreas de terras baixas, o qual determinará a rapidez da drenagem e esvaziamento da porosidade preenchida por água.

Outro fator interferente nas possíveis produções de N_2O são os fertilizantes orgânicos e sintéticos nitrogenados utilizados no período de cultivo sobre os camalhões, os quais podem acrescentar as quantidades de nitrogênio aplicado ao solo e, conseqüentemente, favorecer as emissões de N_2O (APAZA, 2012; BAETHGEN e MARTINO, 2001).

2.5. Áreas naturais em relação às emissões de GEE

As áreas naturais podem apresentar diferentes características, dependentes da localização, clima, tipo de solo, topografia, relevo, precipitação, temperatura, radiação solar e vegetação da região, as quais vão determinar a dinâmica das emissões de GEE (SOUSSANA et al., 2010).

Quando se tem áreas naturais bem drenadas, essas apresentam baixa ou quase insignificante emissão de CH_4 , em função das condições aeradas do solo, que permitem a maior presença de bactérias metanotróficas nesse ecossistema, podendo oxidar o metano (SCHIRMANN, 2016; SOUSSANA et al., 2010). No entanto, no estudo realizado por Buss (2016), determinaram-se altas emissões de CH_4 na área natural, atribuídas à má drenagem que ocasionou saturação e inundação do solo em períodos de precipitação elevada. Com relação às emissões de N_2O do solo na mesma área natural, essas foram relativamente baixas em todo o período de avaliação, possivelmente pela alta relação C/N no solo, contribuindo para a imobilização do nitrogênio, limitando a sua disponibilidade para os processos microbianos de produção de N_2O .

Com relação ao N_2O , as áreas naturais emitem baixas quantidades desse gás, podendo apresentar-se alguns influxos (consumo N_2O) (FLECHARD et al., 2005; SCHIRMANN, 2016). O consumo de N_2O está associado aos baixos teores e

disponibilidade do nitrogênio no solo. Sob ação microbiana, o N_2O pode ser gerado ou consumido nos processos de nitrificação e desnitrificação (CHAPUIS-LARDY et al., 2007).

Os sistemas de produção agrícola em terras baixas que incluem o cultivo de arroz irrigado, as rotações de culturas de sequeiro e as pastagens com a presença de pecuária têm potencial de aumentar e/ou mitigar as emissões de N_2O e CH_4 , por conseguinte, influenciar ao PAGp. As diversas condições encontradas como tipos de manejos do solo, procedimentos de drenagem, sistemas de cultivo, variabilidade das culturas e clima da região podem induzir a produção, emissão ou absorção de GEE.

3. HIPÓTESES

-Os sistemas de produção de grãos envolvendo a rotação milho/soja em sistema plantio direto proporcionam menor emissão de CH₄ e têm menor potencial de aquecimento global parcial em terras baixas, relativamente ao sistema tradicional de cultivo envolvendo arroz irrigado e sistema de pastagem com pecuária extensiva.

- A introdução da rotação milho/soja em sistema plantio direto no ambiente de terras baixas potencializa as emissões de N₂O do solo, em relação ao cultivo de arroz irrigado e pastagem em rotação com pecuária extensiva.

- As áreas de terras baixas naturais têm menor potencial de emissão de CH₄ e N₂O em relação àquelas sob intervenção agrícola.

4. OBJETIVOS

4.1. Geral

Determinar as emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de produção de grãos e pastagens em terras baixas e compará-las com uma área natural.

4.2. Específicos

-Determinar os fluxos de metano e óxido nitroso do solo em sistemas de produção em terras baixas do bioma Pampa, envolvendo arroz irrigado, rotação de cultivos de sequeiro em sistema plantio direto sobre camalhões de base larga, pastagem melhorada com pecuária extensiva e área natural.

-Avaliar as emissões totais de metano e óxido nitroso do solo e a contribuição desses gases ao potencial de aquecimento global nos sistemas de produção e área natural em terras baixas.

-Comparar as emissões de gases de efeito estufa dos sistemas de produção em relação às emissões de área natural em terras baixas.

-Identificar os sistemas de produção potenciais da mitigação de gases de efeito estufa.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), da Embrapa Clima Temperado, localizada no município do Capão do Leão, RS (31°48'43.4" S 52°28'18.7" W, altitude: 13,2 m), por um período de 2 anos, entre o inverno de 2015 e o verão de 2017. As áreas experimentais estavam localizadas em um solo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Típico (CUNHA e COSTA, 2013). O clima da região é classificado como mesotérmico úmido (Cf) e temperado (Cfb), segundo Köppen (REISSER JÚNIOR et al., 2008). A temperatura média anual é de 17,8 °C e a precipitação média anual de 1367 mm.

Os dados de precipitação pluvial, durante o período de avaliação encontram-se no apêndice H, os quais foram obtidos junto à Estação Agroclimatológica de Pelotas, localizada na ETB-Embrapa Clima Temperado.

5.1. Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, onde foram avaliados os seguintes tratamentos representativos de sistemas de produção desenvolvidos no ambiente de terras baixas do RS:

a) O sistema arroz irrigado/pousio (Arroz/Pousio) foi implantado em sistema convencional (SC) de cultivo na primavera de 2014 em uma área de 1,53 ha. O histórico de cultivo dessa área consistiu de um sistema de rotação milho/pastagem/soja em sistema plantio direto sobre camalhões por 8 anos (a partir da safra 2006/07). No período de outono/inverno de 2014, utilizou-se azevém como cultura de cobertura do solo. No início da primavera de 2014, os camalhões foram desmanchados, incorporando-se o azevém mediante operações de aração, gradagem e aplainamento da superfície do terreno. Após, realizou-se a semeadura do arroz em SC. Na sequência, estabeleceu-se o sistema pousio durante as

entressafras e arroz irrigado implantado em sistema convencional nas safras de verão, sendo mantido até a entressafra de 2017. Nesse sistema foi implantado a cultivar de arroz irrigado de ciclo precoce PUITÁ INTA-CL, com recomendação de adubação NPK para o arroz com expectativa de resposta alta à adubação na semeadura e cobertura, em função dos resultados da análise do solo. As adubações nitrogenadas nos dois anos foram parceladas na pré-semeadura e em cobertura, sendo a metade da cobertura no estágio V4 (quatro folhas) e o restante no R0 (iniciação da panícula). O início da irrigação nas duas safras correspondeu ao dia da aplicação da primeira metade da adubação nitrogenada de cobertura (V4).

b) A rotação milho/soja (Milho/Soja) foi estabelecida em área de 10,95 ha estruturada com um sistema de drenagem por camalhões de base larga, adaptado para o cultivo de espécies de sequeiro, dando-se início com o cultivo de milho na primavera de 2006 estendendo-se até o outono de 2007, quando foi realizada a sobressemeadura de azevém. No início da primavera de 2007, ocorreu a dessecação do azevém, seguido da semeadura direta da soja, estabelecendo-se a rotação milho/azevém/soja/azevém em SPD, mantida até a entressafra de 2017. No primeiro ano, quando implantada a cultura do milho utilizou-se a cultivar Agroceres 9045 IPRÓ 2 (RR e Bt) e estabeleceu-se a recomendação de adubação para o milho NPK no sulco da semeadura em função da análise do solo. A adubação nitrogenada para o milho foi parcelada em três aplicações, a primeira na semeadura e a segunda e terceira em cobertura, sendo nos estádios V4 (4 folhas) e V8 (8 folhas) respectivamente. No segundo ano, a cultivar de soja utilizada foi a BMX Ponta IPRO, seguindo-se as recomendações de adubação na semeadura de P e K de acordo às análises do solo, sendo inoculadas as sementes com inoculante líquido a base de nitrogênio, posteriormente foi realizada uma adução potássica em cobertura.

c) O sistema de pastagem (Pastagem melhorada) foi estabelecido na primavera de 2011 com a semeadura de milheto (gramínea estação quente) em SPD sobre a vegetação espontânea da área (9,46 ha). No outono do 2012, realizou-se sobressemeadura de azevém (gramínea estação fria), com o fim de estabelecer a sucessão de pastagens de verão e inverno em SPD. Essa sucessão de cultivo de gramíneas de estação quente e fria foi mantida até a entressafra de 2017, incluindo o cultivo de sorgo forrageiro no verão e da consorciação de azevém com aveia-preta

no inverno. Durante o período de avaliação, a área de pastagem foi utilizada para o pastejo de bubalinos ou bovinos (cruzamento de Charolês, Brahman e Nelore) com 20 a 32 meses de idade no sistema de pecuária extensiva, realizando-se o pastejo em períodos de tempo variável, considerando-se a carga animal, com o objetivo de controlar a sobra de forragem ou superpastejo.

d) A área de referência (Área Natural), com 0,93 ha, é representativa das terras baixas, estando localizada em uma área de cota baixa, porém com boa drenagem e em alguns instantes com saturação do solo devido aos eventos intensos de precipitação. A área é caracterizada pela ausência de histórico de cultivos nos últimos 20 anos, não estando junto às demais áreas, que são adjacentes, encontrando-se a 1,5 km de distância, porém apresenta o mesmo tipo de solo das demais áreas experimentais. A paisagem permaneceu regular e homogênea durante o período de avaliação e as condições predominantes foram a vegetação herbácea composta por gramíneas e espécies vegetais de pequeno porte, com pouca presença de arbustos. Essa área foi selecionada com o objetivo de ser utilizada como referência para comparação das variáveis medidas.

5.2. Condução do experimento

Em cada área experimental foram colocados três sistemas coletores de gases de efeito estufa do tipo câmara estática fechada, como mostrado na Figura 3, que constituíram as repetições para a avaliação da dinâmica de GEE.

As avaliações foram realizadas ao longo de dois anos, tendo início no inverno de 2015 e estendendo-se até 2017 nos períodos de entressafra (outono/inverno) e safra (primavera/verão). O primeiro ano compreendeu os períodos de entressafra 2015 e safra 2015/16 (Ano 1) e o segundo ano, a entressafra 2016 e safra 2016/17 (Ano 2).

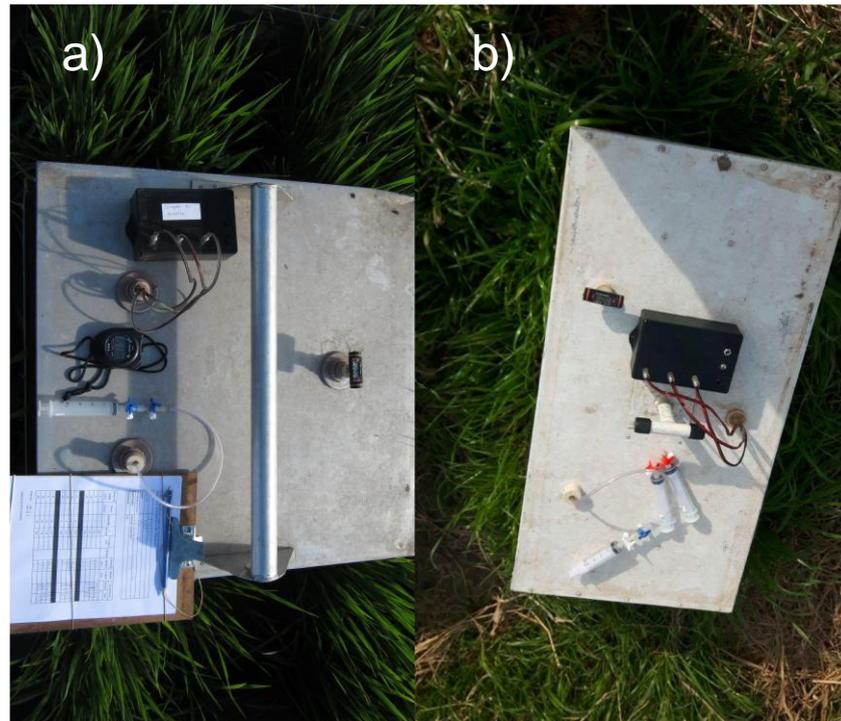


Figura 3. Coletores de gases do tipo câmara estática fechada utilizadas nos sistemas arroz/pousio (a) e milho/soja e pastagem nativa e na área natural (b).

As espécies vegetais presentes ou cultivadas nesses períodos para os diferentes sistemas de produção encontram-se descritas na Tabela 1. Os manejos e tratos culturais para o arroz irrigado, milho e soja foram realizados de acordo às indicações técnicas para essas culturas na região sul do Brasil (REUNIÃO..., 2013; 2014; SOSBAI, 2016).

Tabela 1. Tratamentos/Sistemas avaliados durante o período experimental.

Tratamento/ Sistema	Entressafra 2015	Safra agrícola 2015/2016	Entressafra 2016	Safra agrícola 2016/2017
Arroz/Pousio	Flora de sucessão (Pousio)	Arroz irrigado	Flora de sucessão (Pousio)	Arroz irrigado
Pastagem Melhorada	Pastagem melhorada/Pecuária extensiva	Pastagem melhorada/Pecuária extensiva	Pastagem melhorada/Pecuária extensiva	Pastagem melhorada/Pecuária extensiva
Milho/Soja	Pastagem cultivada (azevém)	Milho	Pastagem cultivada (azevém)	Soja
Área Natural	Área natural	Área natural	Área natural	Área natural

5.3. Coleta e análise de amostras de ar para avaliação de emissões de gases de efeito estufa

Nas áreas com cultivo de arroz irrigado, os sistemas de câmaras estáticas fechadas foram compostos de bases de alumínio e topos (Fig 3a), ambos de forma quadrada e com dimensões de 60cm x 60cm. As bases de alumínio foram inseridas no solo a uma profundidade de 5cm. Essas possuíam uma canaleta na parte superior, onde é inserido e apoiado o topo (câmara fechada). Os topos possuem altura de 19 cm e têm instalados na parte interna ventiladores, ligados a baterias de 12 V, localizadas na parte externa, os quais permitiram a homogeneização do ar por ocasião das amostragens, evitando a formação de gradiente de concentração. Também na parte superior dos topos dos sistemas coletores foram instalados termômetros digitais, transpassados por borrachas, utilizados para registrar a temperatura do ar no interior da câmara, nos momentos de amostragem de ar. Além disso, ductos de plástico conectados a válvulas de três vias e seringas de polipropileno de 20 mL foram instalados na parte superior do topo para a coleta dos gases (MOSIER, 1989).

Apenas as bases dos sistemas permaneceram nas áreas durante todo o período de avaliação e durante o momento da coleta foi realizado o isolamento entre a atmosfera interna e externa da câmara, colocando água na canaleta. À medida que ocorria o crescimento das plantas de arroz com alturas superiores ao conjunto base-câmara foram utilizados um ou dois extensores entre as bases e topos de acordo à necessidade. Ocasionalmente as bases dos sistemas coletores foram retiradas previamente à realização das operações de preparo do solo e manejo das culturas (GOMES et al., 2009).

Nas demais áreas, as câmaras tiveram formato retangular (40cm x 80cm) e 30cm de altura, sendo posicionadas sobre as bases nos momentos das coletas (Fig 3b). As bases com o mesmo formato, com canaletas na parte superior, e 10cm de altura permaneceram fixadas na superfície do solo e retiradas quando realizadas operações de preparo do solo e manejo das culturas. Da mesma forma como nos coletores para arroz irrigado, estes foram hermeticamente fechados com preenchimento das canaletas com água durante as coletas, sendo integrados também nos sistemas os termômetros digitais, válvulas de coletas e ventiladores interligados às baterias. Na Rotação Milho/Soja, Área Natural e Pastagem

Melhorada não se utilizaram extensores, evitando-se a presença de plantas de grande porte dentro das câmaras.

As amostras de gás foram coletadas no intervalo das 9 e 11 horas da manhã devido a este horário ser representativo da média diária da emissão de N₂O do solo (JANTALIA et al., 2008). As coletas de ar do interior das câmaras foram realizadas nos tempos 0, 5, 10 e 20 minutos com ajuda das seringas, após o fechamento hermético das câmaras. Os ventiladores internos da câmara foram acionados para a homogeneização do ar trinta segundos antes da coleta, e a temperatura interna foi monitorada com o termômetro digital com leituras de temperatura realizadas em cada tempo de coleta. Seguido das coletas, as amostras armazenadas nas seringas foram acondicionadas em caixas térmicas contendo gelo em gel para resfriamento, as quais foram seladas e transportadas para o laboratório, onde o material foi transferido para frascos de vidro com vácuo. Posteriormente o material foi encaminhado para análise no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no município de Porto Alegre, RS.

No laboratório as amostras foram submetidas a análises de concentração de N₂O e CH₄, mediante cromatografia gasosa no equipamento Shimadzu GC-2014 (modelo "Greenhouse"). O equipamento consta de três colunas empacotadas, sendo o N₂O quantificado no detector de captura de elétrons (ECD) a 325 °C e o CH₄ quantificado no detector de ionização de chama (FID) a 250 °C. A concentração dos gases foi calculada pela média das três câmaras instaladas em cada tratamento e logo os fluxos foram calculados mediante a relação linear entre a variação da concentração dos gases e dos tempos de coletas, através da equação 1.

$$f = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right) \left(\frac{PV}{RT}\right) \left(\frac{M}{A}\right) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: f é o fluxo de CH₄ e N₂O (µg m⁻² h⁻¹), Q é a quantidade do gás (µmol mol⁻¹) na câmara no momento da coleta, t é o tempo da amostragem (min), P é a pressão atmosférica no interior da câmara - assumida como 1 atm, V é o volume da câmara (L), R é a constante dos gases ideais (0,08205 atm L mol⁻¹ K⁻¹), T é a temperatura dentro da câmara no momento da amostragem (K), M é a massa molar do gás (µg mol⁻¹) e A é a área da base da câmara (m²). Após isso os fluxos de CH₄ foram expressos em g ha⁻¹ h⁻¹ e os fluxos de N₂O em mg ha⁻¹ h⁻¹. As emissões totais

de GEE ao longo da safra e entressafra foram calculadas pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários, semanais ou quinzenais de emissão de CH₄ e N₂O do solo, estimados a partir dos fluxos calculados mediante a equação 1, sendo expressos em emissões totais de CH₄ e N₂O (kg ha⁻¹), respectivamente (GOMES et al., 2009; VEÇOZZI, 2015).

5.4. Análises complementares

A partir das concentrações de CH₄ e N₂O e seus respectivos potenciais de aquecimento global (PAG), foi calculado o Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) para cada tratamento sendo as emissões apresentadas em quantidades de CO₂ equivalente. Os valores de PAG considerados para esses gases em relação ao CO₂ foram de 25, para o CH₄, e 298 para o N₂O, em um tempo de permanência de 100 anos (Equação 2) (FORSTER et al. 2007).

$$\text{PAGp} = (\text{CH}_4 \times 25) + (\text{N}_2\text{O} \times 298) \quad \text{Equação (2)}$$

5.5. Análise estatística

Os fluxos diários de GEE foram analisados de forma descritiva (média ± desvio padrão).

Para análise dos demais dados, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com três repetições, onde o fator tratamento era correspondente às áreas experimentais avaliadas e as variáveis respostas eram as emissões totais de GEE e o PAGp.

Posteriormente, os dados foram submetidos aos testes: de *Shapiro-Wilk*, para verificar a normalidade dos resíduos, de *Bartlett*, para verificar a homocedasticidade de variância, e de independência dos erros. As variáveis resposta foram submetidas à análise de variância e, quando significativa, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, sendo adotada como diferença significativa $p < 0,05$. As análises estáticas foram realizadas utilizando-se o software livre R 3.4.1.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Dinâmica de fluxos de óxido nitroso do solo em sistemas de produção em terras baixas

No ano 1 (Fig. 4a), os fluxos de N₂O dos tratamentos Área Natural, Milho/Soja e Arroz/Pousio foram semelhantes durante a entressafra 2015, mas apresentaram picos de emissão em períodos distintos durante a safra 2015/16.

Durante o período de entressafra do primeiro ano de avaliação (Fig. 4a), iniciado no inverno de 2015 (30/07/2015), os sistemas denominados Milho/Soja, Arroz/Pousio e Área Natural apresentaram oscilações nos fluxos de N₂O semelhantes entre si e inferiores à Pastagem Melhorada, com emissões inferiores a 1.544; 862 e 129 mg de N₂O ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente, que são consideradas baixas, mantendo-se esse comportamento até o fim do período de entressafra. Isso pode ser explicado devido ao fato de que, na entressafra, não se realizaram práticas de adubação ou manejo do solo, as quais contribuem para a intensificação da produção e emissão de GEE. Na área do sistema Milho/Soja apenas foi implantada a cultura de cobertura de solo no inverno (azevém). De acordo com Souza (2013), os fluxos de N₂O podem ser menores em áreas cultivadas com azevém durante a época de inverno, atuando como mitigadora de emissões de N₂O, devido à capacidade do azevém de absorver o nitrogênio disponível no solo, evitando que fique disponível para os processos microbiológicos de nitrificação/desnitrificação, responsáveis da produção de N₂O.

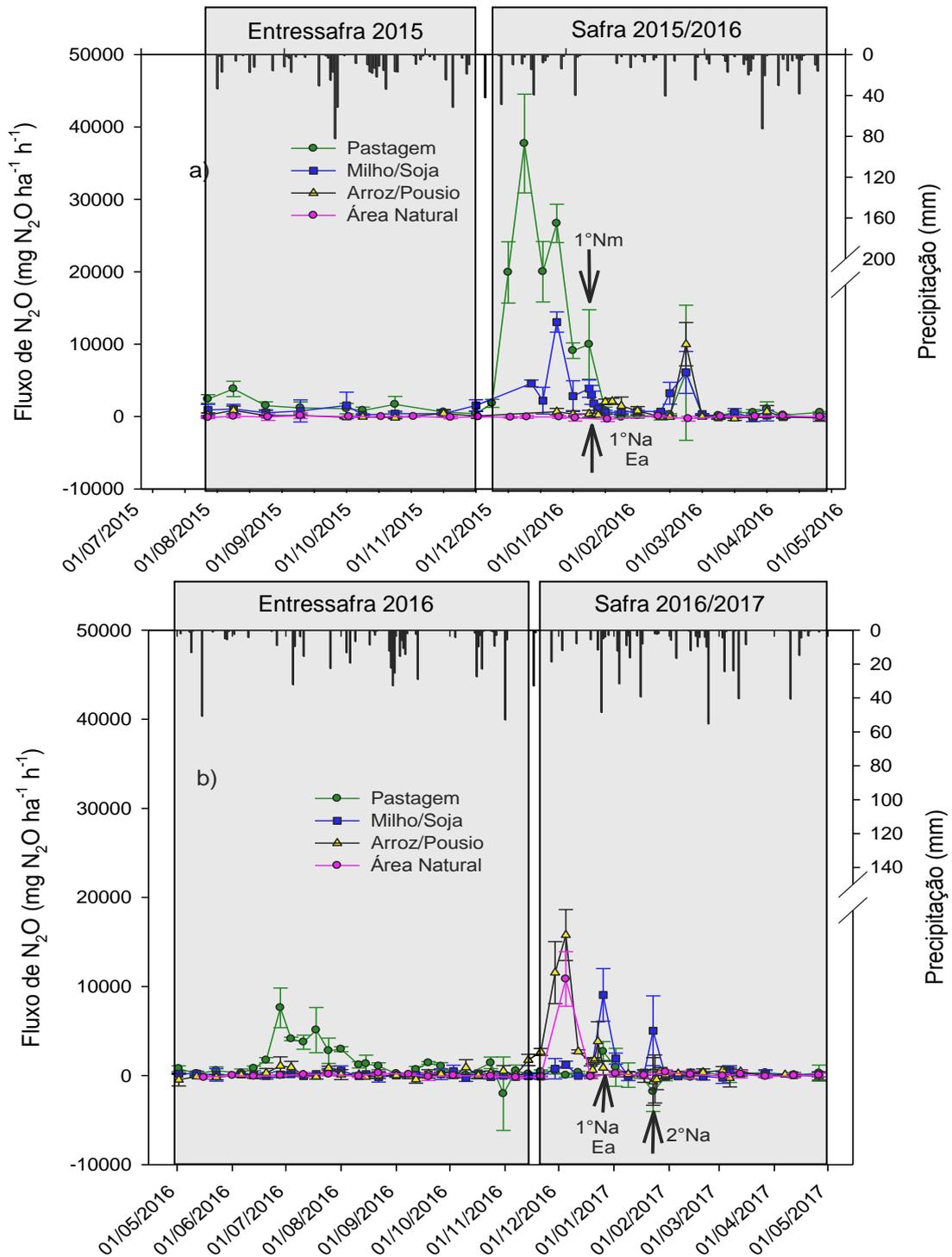


Figura 4. Precipitação e fluxos de N₂O em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) Primeiro ano agrícola (ano 1), entressafra 2015 e safra 2015/16. (b) Segundo ano agrícola (ano 2), entressafra 2016 e safra 2016/17. 1° Nm= primeira adubação nitrogenada em cobertura no milho, no estágio de 4 folhas. 1° Na= primeira adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio V4. Ea= Entrada da água no arroz. 2° Na= segunda adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio R0 (iniciação da panícula). Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Com relação às áreas do sistema Arroz/Pousio e Natural, durante a entressafra (ano 1), nas quais ocorreu o desenvolvimento de vegetação espontânea, determinaram-se fluxos negativos e positivos, variando entre -159 e 862 mg de N₂O ha⁻¹ h⁻¹, para a área Arroz/Pousio, e -146 e 129 mg de N₂O ha⁻¹ h⁻¹, para a Área Natural (Fig. 4a). O mesmo comportamento foi observado durante a safra no ano 1 para esses tratamentos. A ocorrência de influxos (fluxos negativos) no decorrer de todo o primeiro ano nos tratamentos avaliados está associada com a absorção do N₂O pelo solo, provocada pelas possíveis condições anóxicas e limitado NO₃⁻ no solo nessas áreas, onde os microrganismos desnitrificadores utilizam o NO₂⁻ e o N₂O como receptores de elétrons da respiração, sendo reduzidos a N₂ (ZSCHORNACK et al., 2016a).

A área com Pastagem Melhorada, na entressafra (ano 1), em certas ocasiões mostrou fluxos de N₂O diferenciados dos demais tratamentos, caracterizados por fluxos positivos maiores, variando de 390 a 3.814 mg de N₂O ha⁻¹ h⁻¹, os quais estiveram associados a períodos esporádicos de pastejo pelo gado.

Durante a safra 2015/16 (ano 1) (Fig. 4a), o pico máximo de emissão de N₂O foi observado no tratamento Pastagem Melhorada, com valor de 37.711 mg de N₂O ha⁻¹ h⁻¹ no 137º dia após o início das avaliações (14/12/2015), seguido de um pico também elevado de 26.685 mg de N₂O ha⁻¹ h⁻¹ no 151º dia após o início das avaliações (28/12/2015). Posteriormente, houve tendência de diminuição dos fluxos, seguido da sua estabilização (Fig. 4a). Atribuem-se as maiores emissões desse sistema ao fato de estar integrado à pecuária extensiva, que contribui com a deposição de esterco e urina sobre as pastagens (OLIVEIRA, 2015), os quais são ricos em nitrogênio orgânico, que pode ser mineralizado e volatilizar quando entra em contato com o solo (O'MARA, 2012). Salieta-se, ainda, que na área de avaliação o pastejo apresentava-se com maior intensidade na época de verão, devido às demais áreas aos arredores serem utilizadas para a semeadura de cultivos agrícolas (primavera/verão), sendo intensificado o uso da área de pastagem melhorada como a principal fonte de alimentação do gado nesse período.

O sistema de rotação Milho/Soja ao longo de toda a safra do ano 1 apresentou alguns picos de emissão elevados, em relação à área cultivada com arroz e Natural, o maior deles com valor de 13.051 mg de N₂O ha⁻¹ h⁻¹ ocorreu 151 dias após o início das avaliações (28/12/2015). Atribuem-se os eventuais fluxos

elevados de N_2O nesse sistema à presença do azevém como cultura precedente deixada como resíduo de cobertura (palha) dessecada sobre os camalhões para a implementação do sistema plantio direto (SPD) no início da primavera de 2015. Conforme Ferreira et al. (2015), os resíduos de azevém possuem maior relação C/N devido à maior proporção de colmos nos estádios adiantados, e quando dessecados com antecedência, tendem a apresentar menor relação C/N em função da maior proporção de folhas em relação aos colmos de azevém que entram em contato com a superfície do solo, permitindo maior área exposta para ação dos microrganismos. Esses resíduos vegetais de menor relação C/N podem liberar o nitrogênio mais rapidamente, proporcionando o crescimento e reprodução mais acelerado das populações dos microrganismos, deste modo, aumentando a velocidade de decomposição (SANTOS e REIS, 2001).

Neste estudo, também no sistema Milho/Soja foram verificados alguns eventos de fluxo de N_2O de baixa intensidade durante a safra de verão, os quais devem estar associados às taxas de decomposição menores do azevém, em razão dos resíduos não estarem totalmente incorporados ao solo, limitando o acesso dos microrganismos decompositores ao substrato para sua mineralização. Além disso, os resíduos que permanecem na superfície do solo tendem a ficar secos por períodos de tempo mais longos, reduzindo a atividade microbiana nos restos culturais nessa fase e, por conseguinte, a taxa de decomposição (SANTOS e REIS, 2001). Em contrapartida, o N mineralizado da palhada presente pode ser absorvido pelas plantas ou utilizado pelos microrganismos (imobilização), sendo liberado novamente ao solo após sua morte. Tal efeito pode ter ocorrido no sistema de rotação avaliado, de forma que as plantas de milho puderam aproveitar o N disponível no solo, diminuindo as emissões de N_2O decorrentes dos processos de nitrificação e desnitrificação.

As adubações nitrogenadas em cobertura aplicadas aos cultivos de milho e arroz no primeiro ano de avaliação não apresentaram efeito importante sobre os fluxos de N_2O , visto que o padrão de emissão permaneceu constante após as aplicações de adubo. A adubação nitrogenada do arroz com entrada imediata da água e inundação contínua do solo proporcionou alternância entre fluxos de baixa intensidade e alguns eventos de influxo de N_2O , também de baixa intensidade. Esse comportamento é muito similar ao determinado nos estudos realizados por

Zschornack et al. (2016a) em lavouras de arroz irrigado, demonstrando que, sob condições anóxicas e de baixa disponibilidade de nitrato no solo, os microrganismos podem usar o nitrito e N_2O como aceptores de elétrons no processo de respiração, produzindo e emitindo N_2 no lugar do N_2O . No caso da área cultivada com milho, os baixos fluxos de N_2O observados podem ser explicados pela ausência de precipitação nos dias anteriores e posteriores à aplicação do adubo nitrogenado, não havendo, pois, umidade suficiente no solo para a ocorrência de zonas de saturação em condições anaeróbias, propícias para a formação de N_2O . Além disso, cabe ressaltar que o milho foi cultivado em sistema de camalhões de base larga, que contribui para a rápida drenagem da água do solo em direção aos drenos principais, esgotando os possíveis pontos de alagamento (FIORIN et al., 2009; SILVA e PARFITT, 2004), condição que favorece a ocorrência de sítios de aeração no solo, diminuindo os ciclos de umedecimento e secagem do solo, necessários para a produção de N_2O (BASTOS, 2014). Por outro lado, o milho é uma das espécies que mais responde ao nitrogênio, extraindo o nutriente do solo em grande quantidade, reduzindo, pois, sua disponibilidade do N para o processo de mineralização (SANTOS et al., 2001).

No segundo ano de avaliação, os fluxos de N_2O (Fig. 4b) apresentaram comportamento distinto ao do ano anterior para os quatro tratamentos avaliados (Pastagem Melhorada, Milho/Soja, Arroz/Pousio e Área Natural), o que pode ser atribuído a variações no manejo nas áreas, padrão distinto de precipitações e à variabilidade das condições climáticas.

No segundo ano de avaliação, foram registrados apenas em cinco ocasiões eventos de influxo de N_2O sob a Pastagem Melhorada, a partir de 31/10/2016 (Fig. 4b). Nesse sistema, determinaram-se maiores emissões de N_2O em comparação aos outros tratamentos na entressafra 2016, ocorrendo picos de 7.608 mg de N_2O $ha^{-1} h^{-1}$ após 57 dias de início das avaliações (28/06/2016), seguido de um segundo pico de 5.101,4mg de N_2O $ha^{-1} h^{-1}$ aos 77 dias após o início das avaliações (18/07/2016). Esses picos estiveram associados à maior intensidade de pastejo durante o período de entressafra, da mesma forma que relatado para o ano 1 (Fig. 4a), porém no período de safra. As emissões nessa área também estiveram associadas ao aporte de resíduos no solo (fezes e urina) pelos animais em pastejo

(BROWN et al., 2001; OLIVEIRA, 2015), que ficam sujeitos aos processos de nitrificação e desnitrificação (JOSE et al., 2016).

As demais áreas durante a entressafra 2016 apresentaram emissões baixas de N_2O , particularmente na Área Natural, onde o pico máximo de emissão (280,70 mg de N_2O $ha^{-1} h^{-1}$) ocorreu no 112º dia (22/08/2016).

Na área previamente cultivada com arroz irrigado (sistema Arroz/Pousio), foram determinados alguns picos baixos de emissão de N_2O (próximos a 1000 mg de N_2O $ha^{-1} h^{-1}$ no 57º, 63º, 84º e 161º dias após o início das avaliações (entressafra 2016). Esses foram intercalados por picos menores e alguns fluxos negativos (Fig. 4b). Os menores fluxos de N_2O durante o período de pousio (entressafra 2016) provavelmente esteja associado à baixa disponibilidade de N no solo decorrente da imobilização microbiana, resultante da elevada relação C/N dos resíduos de palha no arroz que são incorporados no solo (ZSCHORNACK et al., 2016a), mas também pela intensificação das condições anaeróbias do solo proporcionada pelos resíduos de arroz com elevada relação C/N e de difícil decomposição que propiciam a redução do N_2O para N_2 (KIM et al., 2013).

O sistema de rotação Milho/Soja, com manutenção da palha do milho em superfície durante a entressafra e com o cultivo de cultura de cobertura do solo no inverno (azevém) apresentou comportamento similar ao do sistema Arroz/Pousio quanto aos fluxos de N_2O , caracterizado por fluxos de baixa intensidade, em função da palha possuir relação C/N relativamente elevada e permanecer na superfície do solo, proporcionando decomposição mais lenta.

A análise da dinâmica de emissões durante o período de safra 2016/17 (Fig. 4b) mostra picos de emissão de N_2O na área do sistema Arroz/Pousio, especialmente no período anterior ao alagamento do solo, e na Área Natural, devido principalmente aos eventos de precipitação ocorridos na região em dias anteriores às coletas, seguido de períodos secos, o que possivelmente favoreceu os ciclos de umedecimento e secagem do solo, com alternância nas condições de oxirredução, favorecendo os processos de nitrificação e desnitrificação, que têm como produto intermediário o N_2O (BASTOS, 2014; ZSCHORNACK et al. 2016b). Também no segundo ano, o efeito das adubações nitrogenadas em cobertura para o arroz exerceu pequena influência sobre os fluxos de N_2O (Fig. 4b). Esse comportamento é atribuído à manutenção contínua do alagamento do solo, inibindo a produção de

N_2O , podendo ocorrer influxos em determinados momentos, atribuídos à capacidade de absorção do solo, sendo a absorção de N_2O proporcionada pela capacidade das bactérias desnitrificadoras em reduzir o N_2O para N_2 , nos períodos de anaerobiose, e aos baixos teores de NO_3^- , que forçam as bactérias a utilizar o nitrogênio reduzido na forma de N_2O , consumindo-o (CHAPUIS-LARDY et al., 2007).

O nitrato do solo é perdido por desnitrificação quando o solo é alagado. Porém, o processo da desnitrificação pode ser alimentado e mantido pela nitrificação do NH_4^+ nas zonas oxidadas do solo alagado, proveniente da mineralização no N orgânico ou aplicado como fertilizante, o qual pode difundir-se para as zonas oxidadas e sofrer nitrificação, o NO_3^- pode então difundir-se para a zona reduzida e ser desnitrificado. Este duplo processo (nitrificação/desnitrificação) é um dos fatores responsáveis do baixo aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pela cultura do arroz em solos alagados (VAHL, 1999).

Posteriormente aos picos nas áreas Arroz/Pousio e Natural, os fluxos do N_2O até o final da safra tenderam a se manter em valores baixos.

No sistema de rotação Milho/Soja finalizado na safra 2016/17 com o cultivo de soja (Fig. 4b), registraram-se dois eventos extremos de fluxos correspondentes aos 32° (26/12/2016) e 60° (23/01/2017) dia após a semeadura da cultura, correspondendo a 9.055,6 e 5.036,2 mg de N_2O $ha^{-1} h^{-1}$ respectivamente. Esses picos ocorreram possivelmente devido à cultura de soja estar implantada em sistema plantio direto que tem a tendência de promover taxas mais altas de emissão em condições de saturação do solo, decorrente das precipitações ocorridas previamente às coletas, visto que o SPD está associado à maior preservação da umidade do solo proveniente das chuvas, e também à disponibilidade de substratos orgânicos decomponíveis favoráveis para a intensa atividade microbiana nesses períodos, que favorecem a nitrificação (produção de NO_3^-) e, conseqüentemente, as altas taxas de desnitrificação (emissão N_2O) (CABALLERO et al., 2010; JANTALIA et al., 2008). Durante o restante do período de safra do ano 2, o cultivo de soja proporcionou baixas taxas de emissão de N_2O , associados à capacidade da cultura de reduzir o conteúdo de nitrogênio no sistema (SANTOS, REIS, 2001). Ademais, a ausência de poucos eventos de saturação do solo devido ao sistema de drenagem (camalhões) pode ter contribuído à diminuição da ocorrência dos ciclos de umedecimento e

secagem do solo, essenciais para a produção e emissão de N_2O (FIORIN et al., 2009; SILVA e PARFITT, 2004; ZSCHORNACK et al. 2016b).

6.2. Dinâmica de fluxos de metano do solo em sistemas de produção em terras baixas

Considerando a dinâmica dos fluxos de CH_4 , durante os dois anos agrícolas de avaliação, estes mostraram comportamento semelhante tanto nos períodos de entressafra, como nos de safra para os tratamentos de Pastagem Melhorada, Milho/Soja e Área Natural (Fig. 5).

No decorrer da entressafra 2015 (ano 1), com início no dia 30/07/2015, não se registraram picos de emissão de CH_4 para nenhum dos tratamentos avaliados (Fig. 5a), permanecendo todos os fluxos abaixo dos $13 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ até o final da entressafra (23/11/2015). Esses fluxos inferiores de CH_4 são atribuídos à ausência de condições de solo saturado prolongados, imprescindíveis para a produção de CH_4 , que se dá em zonas reduzidas, mas que também depende da disponibilidade de substratos orgânicos (BAYER et al., 2011).

A comparação com o período inicial da entressafra 2016 (ano 2), mostra que os fluxos foram distintos unicamente no sistema Arroz/Pousio, onde ocorreram três picos de emissão de CH_4 de maior magnitude aos 10, 35 e 49 dias após o início das avaliações, com magnitude de 302; 294 e 193 $\text{g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Fig. 5b). As maiores emissões de CH_4 durante o ano 2 devem estar associadas à presença de grande quantidade de palha de arroz com alta relação C/N, incorporada na camada superficial do solo ao final da safra 2015/16, também por motivo da colheita de arroz em condições de solo saturado, seguido da manutenção da área em pousio sem drenagem desde a data de supressão da água, que contribui para a maior emissão de CH_4 , liberando o gás aprisionado após a colheita. Resíduos com alta relação C/N com valores maiores aos 45/1 (resíduos de gramíneas ou plantas maduras) resultam em baixa decomposição, devido à atividade dos microrganismos ser limitada pela falta de nitrogênio disponível (BAYER et al., 2012; SANTOS e REIS, 2001). Tempo depois na entressafra 2016 (ano 2) (Fig. 5b), determinaram-se alguns outros picos de CH_4 de menor magnitude no sistema Arroz/Pousio, entre o 63º (04/07/2016) e 77º (18/07/16) dia.

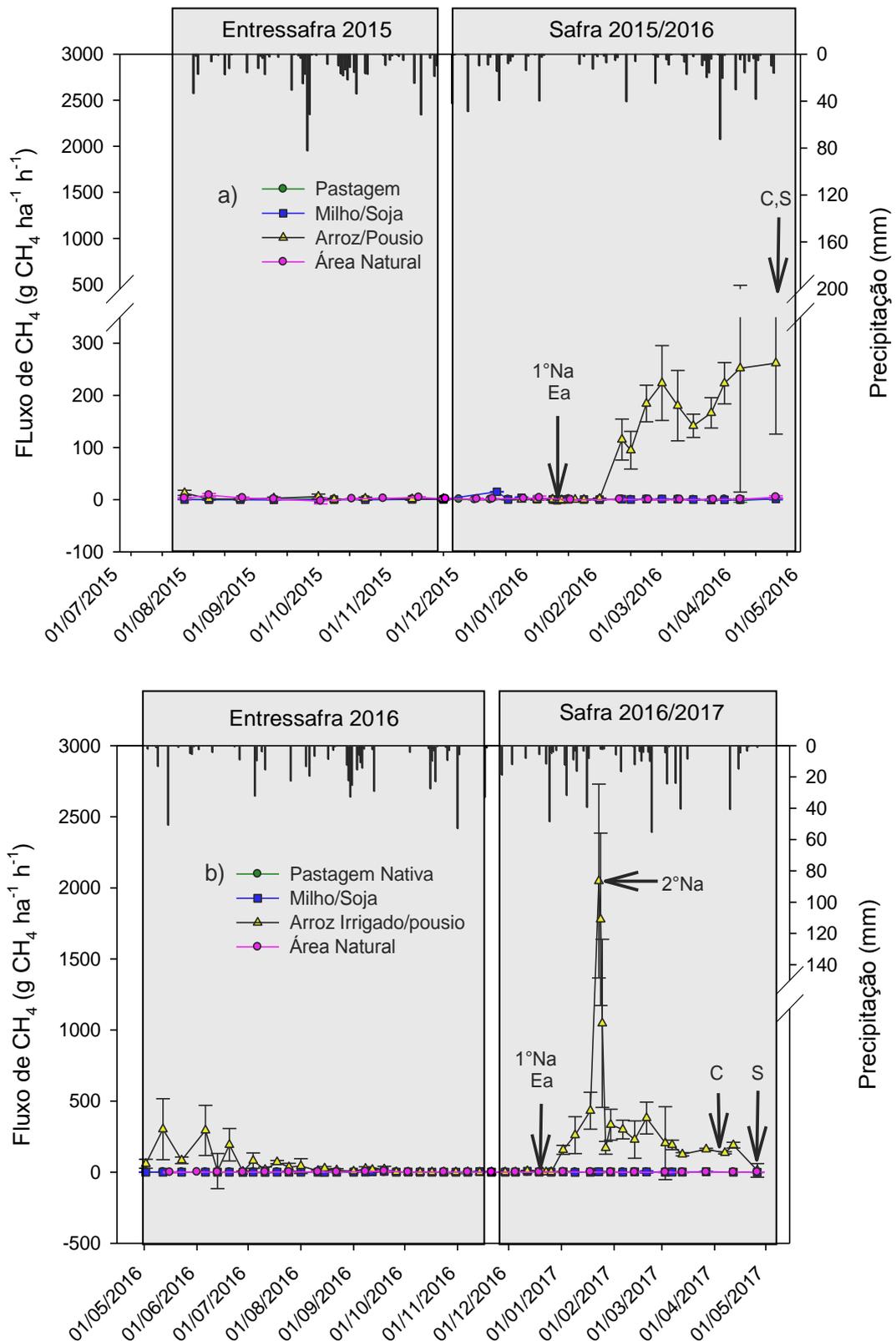


Figura 5. Precipitação e fluxos de CH_4 em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) Primeiro ano agrícola (ano 1), entressafra 2015 e safra 2015/16. (b) Segundo ano agrícola (ano 2), entressafra 2016 e safra 2016/17. 1°Na= primeira adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio V4. 2°Na= segunda adubação nitrogenada em cobertura do arroz no estágio R0 (iniciação da panícula). Ea= entrada d'água no arroz. C= colheita do arroz. S= supressão do alagamento. Barras verticais representam o desvio padrão da média.

Em ambos os períodos de entressafra, a dinâmica de emissão de CH₄ do sistema Milho/Soja (Fig. 5), apresentou comportamento similar, caracterizando-se pela ocorrência de fluxos de pequena intensidade alternados por eventuais influxos de CH₄, variando entre os -0,44 e 6,14 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹. Essas baixas emissões são devido ao sistema de rotação encontrar-se sobre os camalhões de base larga que contribuem para a drenagem eficiente da água oriunda das precipitações, evitando a ocorrência de zonas de saturação do solo prolongadas (SILVA et al., 2002; SILVA et al., 2006). Sob condições de solo drenado, parte do CH₄ produzido durante os períodos de solo saturado é oxidada nos sítios de aeração, explicando os baixos fluxos do solo na área sob camalhões (COSTA, 2005). Além disso, Fiorin et al. (2009) afirmaram que o cultivo de milho semeado sobre camalhões contribuiu para o aumento da oxigenação das raízes das plantas, sendo esta uma condição não favorável para a formação de CH₄. Por outro lado, nos solos saturados o fator fundamental para a ocorrência da metanogênese é a porosidade preenchida por água (maior a 90%), verificada após os eventos de precipitação (BAYER et al., 2012; KHALIL e BAGGS, 2005).

O sistema de rotação Milho/Soja foi estabelecido em plantio direto, o qual contribui para a decomposição lenta do resíduo orgânico deixado em superfície, reduzindo a taxa de decomposição do material orgânico pela intensificação da estabilização do carbono no solo e aumento dos estoques de C orgânico (BAYER et al., 2011). Provavelmente esse efeito tenha ocorrido nos dois anos de avaliação com a palhada de azevém e milho. A implementação dos cultivos de sequeiro nessas áreas está associado à ocorrência de solos oxidados que, conjuntamente com o sistema conservacionista de plantio direto, pode recuperar gradativamente a capacidade do solo em absorver o CH₄, visto serem estabelecidas condições adequadas para o desenvolvimento dos microrganismos metanotróficos que podem agir na oxidação do CH₄ para CO₂, além de imobilizar o carbono na biomassa (HANSON e HANSON, 1996; SCIVITTARO et al., 2014).

No período de safra, as diferenças nos fluxos de CH₄ restringiram-se ao sistema de Arroz/Pousio, que, em ambos os anos, apresentou picos de emissão após o início do alagamento do solo. Observou-se durante o ano 2 a primeira emissão de CH₄ duas semanas após a entrada da água no sistema Arroz/Pousio, em relação ao ano 1, onde as emissões ocorreram depois de quatro semanas do

alagamento. Essa diferença entre os tempos de início das emissões, atribui-se ao aporte de grande quantidade de água das precipitações depois da entrada da água ocorridas com maior frequência no ano 2. (Fig. 5^a e 5b). No ano 1 (Fig. 5a), foram verificados três picos de emissão de elevada magnitude nos dias 11/02/2016, 29/02/2016 e 20/04/2016, com valores de 115; 224 e 262 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente. A elevada emissão de CH₄ nessa época deve-se ao estabelecimento da lâmina de água e a redução do solo. A emissão de CH₄ depende da condição redox da solução, sendo que a decomposição da matéria orgânica por bactérias metanogênicas ocorre em condições estritamente anaeróbias, ou seja, sob condições extremamente reduzidas, produzindo CH₄ (KIM et al., 2012; WESZ, 2012).

Na safra 2015/16, observou-se aumento crescente nos fluxos de CH₄ até atingir o primeiro pico em (11/02/2016) (Fig. 5a), correspondente ao estágio (R0) da planta do arroz, confirmando resultados de Bayer et al. (2014), ao avaliarem a cultura do arroz durante 5 safras. Os autores atribuíram esses picos ao aumento da exsudação radicular, incrementando a disponibilidade de carbono no solo em período no qual as condições ambientais são favoráveis à atividade metanogênica (TOWPRAYOON et al., 2005). Além disso, plantas de arroz mais desenvolvidas favorecem a transferência de CH₄ à atmosfera, através do aerênquima e dos microporos localizados no interior das folhas do arroz. O terceiro pico de emissão ocorreu no final do ciclo da cultura, o qual pode ser devido ao aporte elevado de carbono no solo, proveniente da morte de raízes e de suas escamações e esfoliação, bem como à senescência das plantas (BAYER et al., 2014; BUSS, 2012, 2016; MOTERLE et al., 2011; SCIVITTARO et al., 2015). Esse resultado difere do observado em outros estudos, onde se relata ser comum a diminuição nas emissões de CH₄ na fase de maturação, por causa da redução da atividade fotossintética da planta após o início de desenvolvimento do grão, limitando a oferta de substratos disponíveis para produção de CH₄ (LEE et al., 2014; VEÇOZZI, 2015; WESZ, 2012).

Confrontando-se as emissões de CH₄ entre as safras para o sistema Arroz/Pousio, nota-se distinção no comportamento apenas para o segundo ano (Fig 5b), quando ocorreu apenas um pico elevado de 2.048 g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹, aos 60 dias após a semeadura do arroz (23/01/2017). Nesse período as plantas de arroz encontravam-se no início da fase reprodutiva. Esse comportamento foi verificado

anteriormente por Silva et al. (2011), em experimentos em casa de vegetação. Na sequência, (Fig. 5b), verificou-se redução nos fluxos de CH_4 , ou seja, após a segunda aplicação de N em cobertura para o arroz, realizada no 23/01/2017. O aporte de NH_4^+ provavelmente contribuiu para a oxidação do CH_4 , dada a competição entre as bactérias metanotróficas e nitrificadoras pela enzima metano monooxigenase (BENDER e CONRAD, 1994; HUTSCH, 2001). Paralelamente, a aplicação de fertilizantes amoniacais ou formadores de amônio, como a ureia, estimula a oxidação de CH_4 a CO_2 por bactérias metanotróficas, evitando a sua liberação à atmosfera (SHRESTHA et al., 2010). Embora, o efeito dos fertilizantes minerais de N no solo seja considerado efêmero, efeitos prolongados têm sido observados em alguns estudos durante varias semanas (SUWANWAREE e ROBERTSON, 2005). Bayer et al. (2012) observaram resultado distinto ao deste estudo, sendo que os fluxos de CH_4 tiveram uma relação estreita com os teores médios de NH_4^+ e Carbono Orgânico Dissolvido (COD) no solo. Os teores elevados de NH_4^+ e COD promoveram diminuição da metanotrofia, concomitantemente ao aumento da metanogênese, respectivamente. O efeito prejudicial em curto prazo do NH_4^+ sobre as bactérias metanotróficas nos solos agrícolas encontra-se muito bem descritos na literatura, que estabelece a relação do uso de fertilizante a base de amônia com a emissão de CH_4 (ACTON e BAGGS, 2011; REAY e NEDWELL, 2004; SITAULA et al., 2000; SUWANWAREE e ROBERTSON, 2005).

Na sequência ao possível efeito da adubação nitrogenada (estádio reprodutivo R0) sobre a produção de CH_4 na safra 2016/17 (ano 2) (Fig. 5b), os fluxos de CH_4 apresentaram tendência de redução até o final do ciclo da cultura. O decréscimo pode ser explicado pela senescência das plantas ou elevada demanda por NH_4^+ , reduzindo a liberação de compostos de carbono orgânico lábil pelas raízes e o substrato para as bactérias, conforme relatado por Moterle et al. (2013) em cultivos de arroz no plantio convencional sob diferentes sistemas de irrigação.

Para as áreas de Pastagem Melhorada, Milho/Soja e Área Natural, durante ambos os períodos de safra (Fig. 5), os fluxos de CH_4 foram muito semelhantes, sendo praticamente nulos, registrando-se grande quantidade de influxos de CH_4 , mostrando-se assim como sistemas potencialmente capazes de absorver CH_4 . A manutenção do solo drenado (oxidado) nas áreas de Pastagem Melhorada e Milho/Soja pode ter contribuído à inibição da atividade dos microrganismos

metanogênicos produtores de CH₄. Mesmo a presença de pecuária de corte na área de pastagem, com variações no uso e intensidade do pastejo durante os períodos de entressafra e safra nos dois anos, não influenciaram os fluxos de CH₄. Contrariamente, em alguns momentos determinaram-se maiores influxos de CH₄, mostrando potencial para absorção de CH₄. Áreas de pastagens de natureza extensiva e com eficiência produtiva podem servir como sistemas de sequestros de carbono (mitigador de GEE), e não como agente poluidor, mediante o adequado manejo durante o pastejo (ALVES, 2006; BRUNES e COUTO, 2017).

Os fluxos de CH₄ da Área Natural estiveram próximos de zero nos dois anos, independentemente da ocorrência de eventos de precipitação. Isso pode ser devido à ausência de lâmina de água na área, condição que facilitaria a produção de CH₄. Provavelmente as condições climáticas de radiação solar e vento contribuíram com a rápida evaporação de água no solo, por ação da maior incidência desses fatores climáticos na área natural, onde a vegetação predominante era herbácea composta por gramíneas e espécies vegetais de pequeno porte e pouca presença de arbustos, que contribuíram com a menor proteção do solo aos efeitos climáticos. Resultados contrários foram encontrados por Buss (2016) em uma área natural sem sistema de drenagem, porém, em certos momentos a área ficava submersa na água. Isso demonstra que os picos de emissão de CH₄ em área natural estão associados à condição de drenagem e umidade do solo, assim como à disponibilidade de fonte de carbono lábil.

6.3. Emissões totais de N₂O e CH₄ em sistemas de produção e em área natural em terras baixas

No ano 1, a área natural apresentou absorção líquida de N₂O (Fig. 6). Esse efeito, embora em pequena magnitude, ocorreu tanto no período de entressafra (-0,03 kg N₂O ha⁻¹) (Fig. 6a), como no de safra (-0,32 kg N₂O ha⁻¹) (Fig. 6b). Esse efeito deve estar relacionado aos estoques de nitrogênio; limitando-se o aporte de nitrogênio aos resíduos provenientes da ciclagem da vegetação nativa. Os solos de campo nativo sem deposição de urina e esterco bovino têm baixa concentração de nitrogênio, por tanto, baixa concentração de NO₃⁻, o qual é limitante para a formação e emissão de N₂O, servindo como estímulo para a emissão de N₂ (SCHIRMANN, 2016).

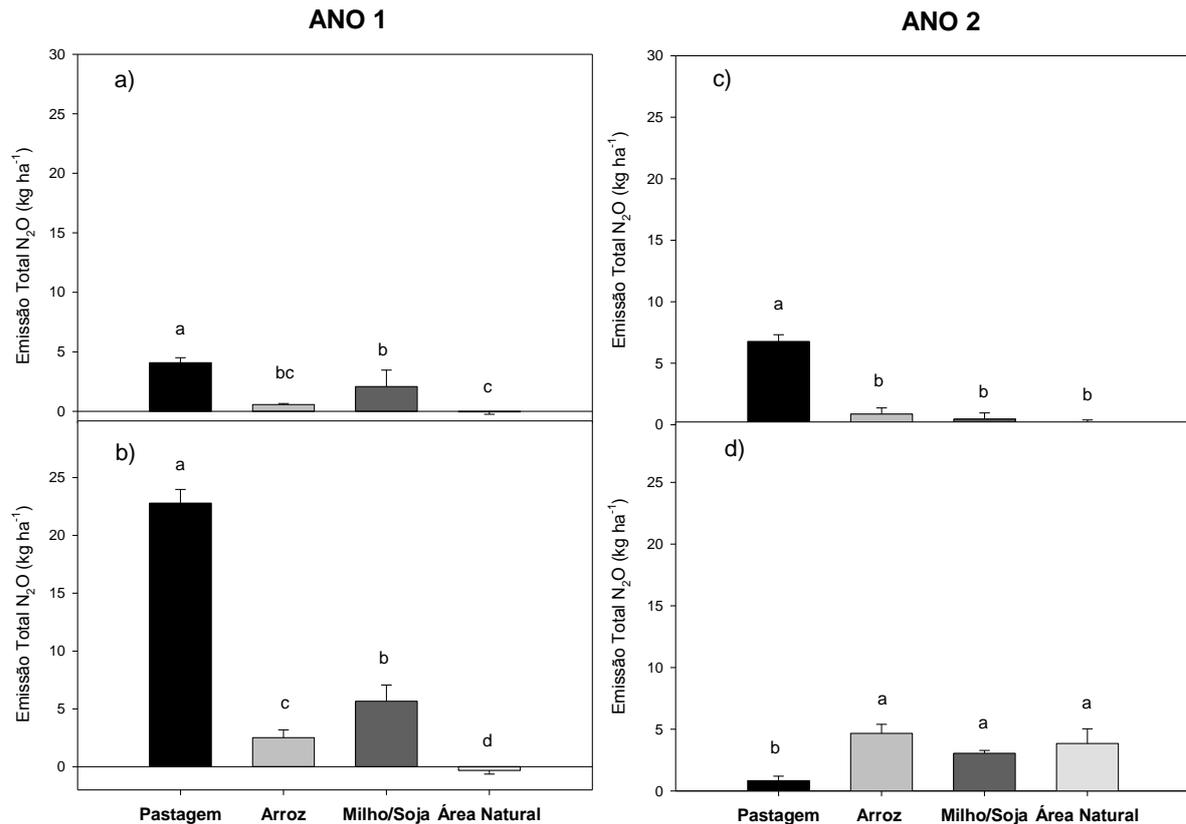


Figura 6. Emissões sazonais de N₂O em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) e (b) Emissões totais de N₂O na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 1. (c) e (d) Emissões totais de N₂O na entressafra e safra respectivamente, durante o ano 2. As barras de erros representam o desvio padrão da média.

Na entressafra do ano 2, a área natural apresentou alguma emissão de N₂O de baixa magnitude (0,04 kg N₂O ha⁻¹). Porém, durante a segunda safra, a emissão total de N₂O na área natural apresentou comportamento distinto dos períodos anteriores, com emissões maiores, próximas às dos sistemas com cultivo de arroz e soja (Fig. 6d). Ainda assim, na totalização das emissões de N₂O ao longo dos dois anos de estudo, a área natural (Fig. 8a) permaneceu sendo o sistema com menor produção e emissão desse GEE, com valor correspondente a 3,40 kg N₂O ha⁻¹, não diferindo significativamente dos sistemas Arroz/Pousio e Milho/Soja, mas é 10 vezes menor que o da área sobre Pastagem Melhorada. As emissões de N₂O são governadas por inúmeros fatores ambientais e associadas aos manejos, incluindo precipitações, tipo do solo, conteúdo de água no solo, temperatura, capacidade de redução de N₂O, bem como a quantidade e tipo de fornecimento de fertilizantes nitrogenados (ALLARD et al., 2007; HENAULT et al., 1998). As emissões de N₂O tendem a ser menores nos campos naturais comparados às pastagens melhoradas

e em solos com boa drenagem quando comparados a solos pobremente drenados (KLEIN et al. 2003).

O tratamento que mais contribuiu com a emissão de N_2O durante o primeiro ano foi a Pastagem Melhorada, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos durante as duas estações, com valores de $4,1 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$ (Fig. 6a) e $23 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$ (Fig. 6b), na entressafra e safra, respectivamente, totalizando $27 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$ no ano (Apêndice A). Esse resultado anual foi superior ao encontrados por Allen et al. (1996), que avaliaram diferentes solos no sudoeste do Reino Unido sob pastoreio de gado durante um ano agrícola com média entre $0,5-1,5 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e por Piva et al. (2014), que avaliaram a emissão total de solo anual em sistema de integração de lavoura-pecuária ($4,3 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). No ano 2, somente na entressafra a área sob pastagem apresentou emissão de N_2O maior que as demais áreas (Fig. 6c). Contrariamente, durante a safra, esse foi o tratamento com menor emissão (Fig. 6d). Essa variabilidade de emissões entre os períodos de safra e entressafra refletem os fluxos ocorridos durante as estações agrícolas, que apresentaram magnitude variável entre as épocas e ano, em função de variações nas práticas culturais e intensidade de uso da área para pecuária, que contribui com a deposição de dejetos ricos em nitrogênio orgânico, substrato para a produção de N_2O (Fig. 4a). Estudos realizados por Bayer et al. (2011) em sistemas em Integração-Lavoura-Pecuária (ILP), relatam que a fonte principal de N_2O emitido pelo solo durante os períodos de pastagem é a urina, porém o esterco também contribui para as emissões, embora em menor quantidade. Vale ressaltar que 80-90% do N consumido pelo gado pode retornar ao solo na forma de urina e fezes; a maior parte como urina. Nos locais onde há deposição de urina, é possível encontrar presença de formas minerais de N por até 90 dias, atribuindo-se perdas de N_2O proveniente da urina inferiores a 3,8 %.

A área de Pastagem Melhorada apresentou, na maior parte dos períodos de avaliação, emissões de N_2O superiores às demais áreas (Fig. 8a), totalizando $35 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$. Allard et al. (2009), ao avaliarem a dinâmica de gases em um local de pastagem seminatural de montanha sob diferentes manejos encontrou emissões consistentemente baixas de N_2O em áreas extensivamente manejadas em relação àquelas sob uso intensivo, demonstrando o baixo potencial de emissões de N_2O de pastagens com pecuária extensiva e na ausência de uso de fertilizantes nitrogenados.

Com relação ao sistema de Arroz/Pousio, as emissões totais de N₂O foram consistentemente baixas ao longo de todo o período de avaliação, ocorrendo em patamares inferiores ou iguais ao da Área Natural e do sistema Milho/Soja. Tal sistema apresentou maior produção de N₂O durante os períodos de safra, relativamente à entressafra nos dois anos de avaliação (Fig. 6), devido, provavelmente, ao aporte de adubação nitrogenada para as plantas de arroz. As emissões determinadas corresponderam a 2,5 e 4,6 kg N₂O ha⁻¹, nas safras 2015/16 (Fig. 6b) e 2016/17 (Fig. 6d), respectivamente. Essas emissões foram inferiores às observadas por Zschornack et al. (2011), que encontraram emissões próximas aos 18 kg N₂O ha⁻¹ em cultivo de arroz irrigado realizado em área com prévia incorporação de resíduos de culturas de cobertura de solo no inverno azevém (*Lolium multiflorum* Lam) e serradela nativa (*Ornithopus micranthus*). Por outro lado, os resultados do presente estudo foram superiores aos reportados por Linquist et al. (2012), que estabeleceram como emissões médias de N₂O para o arroz irrigado por inundação contínua valores bem menores, da ordem de 0,19 kg N₂O ha⁻¹ por safra e 0,88 kg N₂O ha⁻¹, como média global.

O tradicional sistema de cultivo adotado nas terras baixas do RS Arroz/Pousio, no decorrer dos dois anos, apresentou emissão acumulada de 10,46 kg N₂O ha⁻¹, caracterizando, pois, uma atividade agrícola com baixo potencial de emissão de N₂O, assim como a Área Natural e o sistema Milho/Soja (Fig. 8a). Ainda que a emissão acumulada de N₂O medida para o sistema Arroz/Pousio tenha sido relativamente baixa, o valor medido foi cerca de 9,5 vezes maior do que o reportado por Buss (2016), onde a emissão total de dois anos em um sistema de cultivo de arroz na safra e preparo convencional na primavera, com manutenção da área em pousio durante a entressafra teve valor total aproximado de 1,1 kg N₂O ha⁻¹.

A rotação Milho/Soja em sistema de camalhões de bases larga, ao longo dos dois anos, apresentou tendência de emissões de N₂O menores nos períodos de entressafra, em relação aos períodos de safra (Fig. 6). Na safra de 2015/16 (ano 1), foi determinada maior emissão total de N₂O (5,66 kg N₂O ha⁻¹) entre os períodos de avaliação (Fig. 6b), o que se explica pelo manejo na área, envolvendo o cultivo de milho, recebendo adubações nitrogenadas de acordo a demanda da cultura, em relação à safra 2016/2017 (ano 2), que se encontrava a cultura de soja (Fig. 6d) apresentando menores emissões de N₂O. Além disso, a dessecação do azevém

utilizado como cultura de cobertura no inverno deve ter contribuído para o conteúdo de N no solo, substrato para a produção de N_2O em resposta à variação nas condições de oxirredução do solo (ZSCHORNACK et al., 2016b). Geralmente, a adubação nitrogenada do milho desempenha um papel importante na emissão de N_2O , pelo aumento na disponibilidade de N mineral no solo, especialmente no SPD, onde podem ocorrer altas emissões sazonais, relacionadas com o aumento da umidade e temperatura do solo, aumentando a intensidade da desnitrificação (MACKENZIE et al., 1997). Nesse sentido, vários trabalhos relatam aumento das emissões de N_2O no SPD (GOMES et al., 2009; MA et al., 2013; ROCHETTE et al., 2008; SOUZA, 2013).

Ainda para o sistema Milho/Soja, menor emissão total de N_2O foi determinada no ano 2, especificamente na entressafra 2016, com magnitude de $0,45 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$ (Fig. 6c). Atribui-se a baixa emissão total de N_2O nesse sistema à presença de palha da cultura de milho em superfície com relação C/N alta utilizada como cultura antecedente (safra 2015/16), a qual pode estimular a imobilização de nitrogênio pela microbiota do solo, reduzindo a disponibilidade de N para os processos de nitrificação e desnitrificação, responsáveis da produção de N_2O no solo (SOUZA, 2013). A emissão total acumulada do sistema Milho/Soja foi de $10,15 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$ (Fig. 8a), a qual embora seja relativamente baixa, supera o valor constatado por MacKenzie et al. (1997), que avaliou um sistema de dois anos de rotação de milho/soja com perdas totais de emissão de nitrogênio de $6,1 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1}$, afirmando que a rotação de milho com culturas leguminosas sobre plantio convencional pode reduzir as emissões de N_2O nos campos agrícolas, devido à redução da dose requerida de fertilizantes nitrogenados pela inserção da leguminosa no sistema e implementação do SPD (ANDRADE et al., 2010).

Com relação à emissão total de CH_4 (Fig. 7), durante os dois anos de avaliação, as maiores perdas foram observadas para o sistema de Arroz/Pousio, sendo sempre superiores durante os períodos de safra, com magnitude de $339,3$ e $803,8 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$ no ano 1 (Fig. 7b) e ano 2 (Fig. 7d), respectivamente. Esses valores são estatisticamente distintos daqueles medidos para a Área Natural e os sistemas Milho/Soja e Pastagem Melhorada. Esses resultados podem ser explicados pela presença de solo inundado na área cultivada com arroz, favorecendo a produção e emissão de CH_4 .

As elevadas emissões de CH₄ durante o período de cultivo de arroz, em comparação ao período de pousio, também podem ser atribuídas à entrada de carbono no solo, proveniente da incorporação no início da primavera dos resíduos de arroz (cultivo anterior) e da flora de sucessão desenvolvida durante o inverno, pela adoção de sistema convencional de preparo do solo (BAYER et al., 2015). Ao longo dos dois anos de avaliação, as emissões totais de CH₄ do sistema Arroz/Pousio atingiu 1.486 kg CH₄ ha⁻¹ (Fig. 8b) e os outros sistemas quase não apresentaram emissões de CH₄. Dados de pesquisa em que se avaliou o efeito do sistema de manejo da cultura de arroz irrigado em terras baixas mostram que apesar de o alagamento do solo reduzir a decomposição de resíduos orgânicos, ocorrem perdas consideráveis de carbono, provocados pelo revolvimento do solo durante o preparo na forma de CO₂ (ROSA et al., 2011).

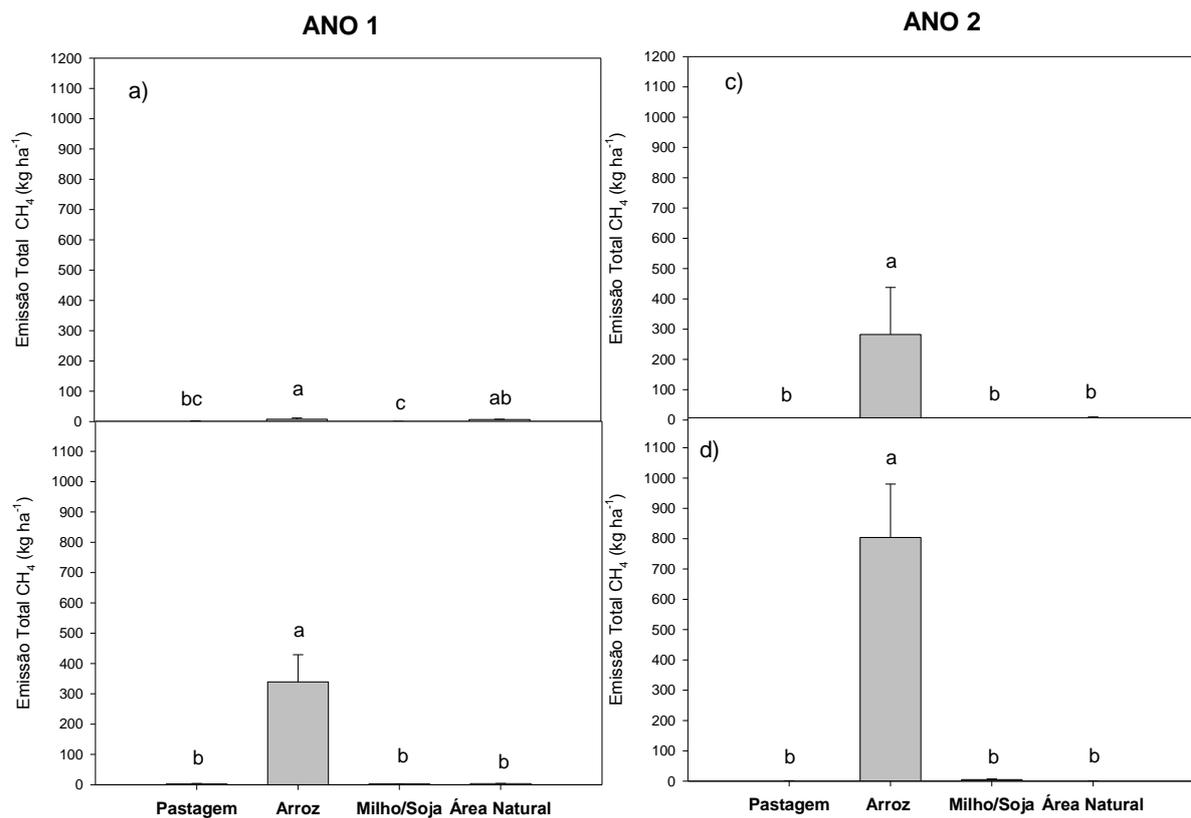


Figura 7. Emissões sazonais de CH₄ em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) e (b) Emissões totais de CH₄ na entressafra e safrá, respectivamente, durante o ano 1. (c) e (d) Emissões totais de CH₄ na entressafra e safrá, respectivamente, durante o ano 2. As barras de erros representam o desvio padrão da média.

Em relação às altas emissões de CH₄ nas áreas previamente cultivadas com arroz durante as entressafras, comparativamente aos demais tratamentos (Fig 7a e Fig 7c), a condição de solo saturado por ocasião da colheita do arroz, a permanência da área sob pousio e a não implementação de sistema de drenagem durante a entressafra devem ter contribuído para a manutenção da anaerobiose do solo após a colheita e eventos de chuva, favorecendo a emissão de CH₄, uma vez que a produção desse gás está associada à decomposição microbiana de materiais orgânicos em ambientes anaeróbios, via fermentação (CONRAD, 2002). Desta forma, o preparo do solo antecipado na época de outono/inverno, seria uma técnica mitigadora das emissões de CH₄, pelo fato da incorporação da palha de arroz ocorrer sob condições de solo drenado, reduzindo o potencial de emissão de CH₄, mas também pelo preparo favorecer a drenagem do solo durante a época de pousio (BAYER et al., 2013). Apesar das diferenças entre os tratamentos nos anos 1 e 2, as emissões totais de CH₄ no outono/inverno foram baixas, considerando-se o potencial de emissão desse GEE associado ao cultivo de arroz irrigado. A maior emissão total de CH₄ na entressafra do ano 2 no sistema Arroz/Pousio foi provavelmente em função do período avaliado com início no 02/05/2016 com aproximadamente sete meses de duração, em relação ao ano 1 iniciado no 30/07/2015 com quatro meses (Fig. 5), no incluindo-se no ano 1 o período após a colheita de arroz, onde se produz normalmente as maiores emissões de CH₄, pela alta disponibilidade de carbono dos resíduos da cultura antecedente em condições de alta umidade no solo.

Na área sob Pastagem Melhorada, observaram-se valores baixos de emissão de CH₄ ao longo de todos os períodos de avaliação (safras e entressafras) (Fig. 7); as menores emissões foram registradas na entressafra 2016 (ano 2), com magnitude de 0,84 kg CH₄ ha⁻¹ (Fig. 7c), e na safra 2015/16 (ano 1), com magnitude de 2,4 kg CH₄ ha⁻¹ (Fig. 7b). A maioria dos solos pastejados em regiões de clima tropical e subtropical com drenagem livre funcionam como sumidouros de CH₄, porque permanecem sob condições aeróbias que favorecem a oxidação de CH₄ a CO₂ pelos organismos metanotróficos (PIVA et al., 2014).

Ao observar-se as emissões acumuladas de CH₄ na Pastagem Melhorada durante os dois anos (Fig. 8b), o valor baixo de emissão encontrado (4,52 kg CH₄ ha⁻¹) confirma dados de Soussana et al. (2007), mostrando que os sistemas de pastagens extensivas (mas ricos em N) podem armazenar mais carbono, quando

comparados com pastagens sob manejo intensivo. Nas áreas de pastejo extensivo, as deposições de fezes e urinas são distribuídas pela área, evitando-se a formação de problemas de fermentação anaeróbica expressiva, favorável à produção de CH₄ (PRIMAVESI, 2007).

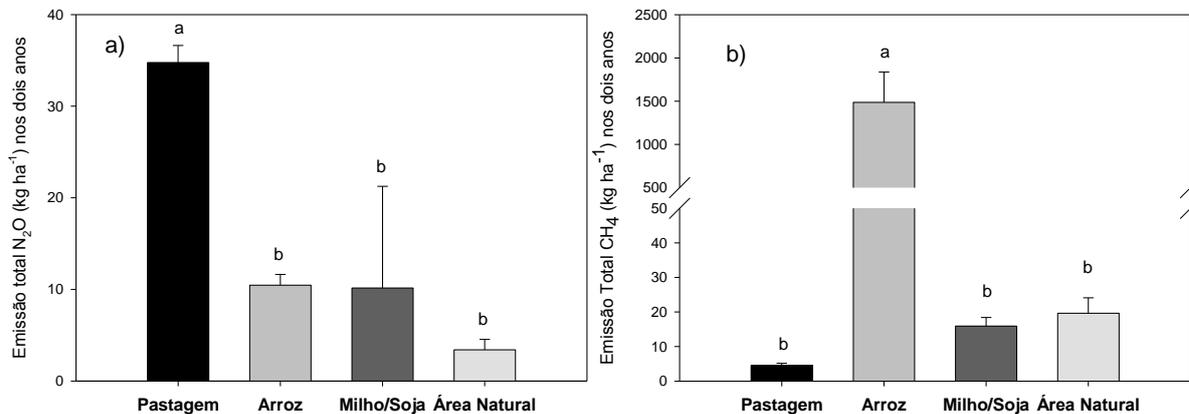


Figura 8. Emissão total acumulada de N₂O (a) e CH₄ (b) em sistemas de produção e área natural por um período de dois anos. As barras de erros representam o desvio padrão da média.

Os tratamentos Área Natural e rotação Milho/Soja indistintamente mostraram baixo potencial de produção de CH₄, apresentando como valores máximos sazonais de 6,8 e 5,0 kg CH₄ ha⁻¹, respectivamente, na entressafra 2015 (Fig. 7a) e safra 2016/17 (Fig. 7d). As emissões acumuladas desses ao longo de dois anos confirmaram seu baixo potencial de emissão de CH₄, correspondendo a 20 kg CH₄ ha⁻¹, para a área natural, e 16 kg CH₄ ha⁻¹, para o sistema Milho/Soja (Fig. 8b). O SPD implementado juntamente à rotação Milho/Soja pode ter contribuído para a capacidade do solo de absorver CH₄, estabelecendo um ambiente adequado para o desenvolvimento de microrganismos metanotróficos, que transformam o CH₄ em CO₂, além de imobilizar o carbono (SCIVITTARO et al., 2014).

6.4. Potencial de Aquecimento Global parcial em sistemas de produção e área natural em terras baixas

O Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) é um índice que avalia a contribuição de um determinado gás de efeito estufa para o aquecimento global, servindo como base de comparação sobre a capacidade de cada GEE em reter calor na atmosfera em relação ao CO₂, bem como para estimar a influência de determinada prática (tratamento) sobre as emissões de GEE de forma combinada (CH₄ e N₂O), levando em consideração o potencial de aquecimento de cada gás em

relação ao CO₂ (25 vezes maior, para o CH₄, e 298, para N₂O) (IPCC, 2014; KIM et al., 2013; ZSCHORNACK et al., 2011).

Ao longo dos dois anos de avaliação e nas duas entressafras e safras, o N₂O foi responsável pela maior parte do PAGp nas áreas de Pastagem Melhorada e Milho/Soja. Para o sistema Arroz/Pousio, por sua vez, o CH₄ foi o principal componente do PAGp. Na área natural, a composição do PAGp variou entre os períodos, sendo o CH₄ o principal componente nas entressafras e o N₂O, durante as safras de verão (Fig. 9).

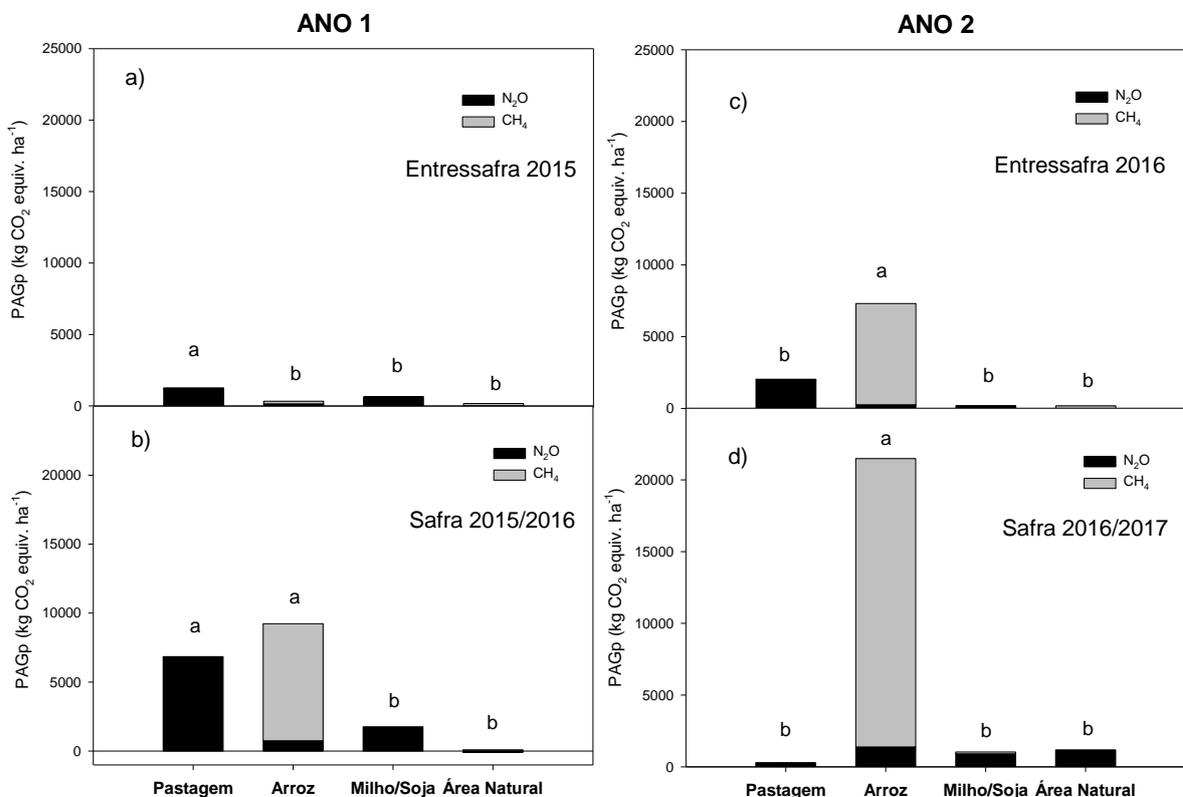


Figura 9. Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) sazonal em sistemas de produção e área natural em terras baixas sobre um Planossolo. (a) e (b) PAGp na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 1. (c) e (d) PAGp na entressafra e safra, respectivamente, durante o ano 2.

Durante ambas as safras de arroz, o CH₄ respondeu por quase a totalidade do PAGp, atingindo valores de 9.234 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ (91,8% na forma de CH₄) e 21.484 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ (93,5% na forma de CH₄) na primeira e segunda safra, respectivamente (Fig. 9b e 9d). Conforme Kim et al. (2013), o CH₄ é o principal componente do PAGp para cultivos de arroz irrigado, contribuindo com, em média, 80% do total de 14.900 kg CO₂ equiv. ha⁻¹. Comparativamente aos resultados do

presente estudo, os dados desses autores corresponderam a PAGp 1,6 vezes maior, ao ano 1, e 1,4 vezes menor, no ano 2. Além disso, os valores de PAGp estiveram dentro da faixa média de 75 – 22.237 kg CO₂ equiv. ha⁻¹, estabelecida em meta-análise de 116 observações em estudos de fluxos de CH₄ para a cultura de arroz irrigado (LINQUIST et al., 2012).

As oscilações na magnitude do PAGp (na forma de N₂O) em algumas épocas na Pastagem Melhorada (Fig. 9) são atribuídas à maior incidência de pastejo em alguns períodos e ao efeito residual de nitrogênio das excretas e urina do gado. Não obstante, a variabilidade das condições climáticas no decorrer das avaliações também devem ter contribuído por parte importante das perdas de N₂O durante os períodos de safra e entressafra (WILLIAMS et al., 1999). Ressalta-se que o PAGp da Pastagem Melhorada durante a safra 2015/16 foi estatisticamente semelhante ao PAGp do sistema Arroz/Pousio, com valores de 6.851 e 9.234 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ respectivamente.

O PAGp acumulado (Fig. 10) dos diferentes tratamentos avaliados ao longo de duas safras e entressafras (2 anos agrícolas), atingiram 40.268 kg CO₂ equiv. ha⁻¹, para o sistema Arroz/Pousio; 10.475 kg CO₂ equiv. ha⁻¹, para a Pastagem Melhorada; 3.425 kg CO₂ equiv. ha⁻¹, no sistema Milho/Soja e 1.506 kg CO₂ equiv. ha⁻¹, na Área Natural. Estatisticamente, o PAGp acumulado do sistema Arroz/Pousio foi superior ao dos demais tratamentos.

No acumulado dos dois anos, o N₂O predominou como componente do PAGp nos tratamentos Pastagem Melhorada, com 98,9% do total, rotação Milho/Soja, com 88,3% do total, e Área Natural, com 67,3% do total (Fig. 10). No entanto, no sistema Arroz/Pousio, o PAGp foi constituído, principalmente, por CH₄, contribuindo com 92,2%. Valores elevados de PAGp são comuns em sistemas de cultivo de arroz e com menor representatividade nos sistemas de cultivo de milho, sempre sendo o PAGp impulsionado, no cultivo de arroz, pelo CH₄ e, no milho, pelo N₂O (LINQUIST et al., 2012).

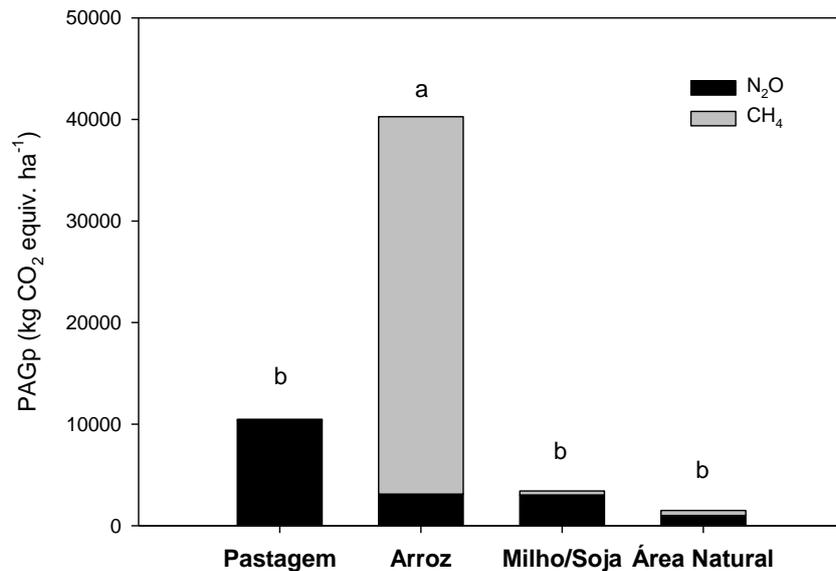


Figura 10. Potencial de Aquecimento Global acumulado em sistemas de produção e área natural de terras baixas, por um período de dois anos.

A predominância do CH₄ no maior PAGp nos sistemas de arroz é devido ao tradicional cultivo em condições de solo alagado, estabelecendo condições anaeróbias, que favorecem a metanogênese, que é um processo de decomposição da matéria orgânica em ambiente estritamente anaeróbio, tendo como produto final o CH₄ (BAYER et al., 2011). Contrariamente, em sistemas de cultivo envolvendo o milho, o principal componente do PAGp é o N₂O, cuja produção está relacionada fortemente com o uso de fertilizantes nitrogenados (GOMES, 2006; MACKENZIE et al., 1997). Resultados de Harada et al. (2007), que trabalharam com arroz irrigado por inundação do solo, mostram emissões proporcionalmente maiores de CH₄ em relação ao N₂O expressos em CO₂ equivalente, onde o N₂O atingiu somente uma participação relativa à 3% no PAGp, confirmam observações do presente estudo.

O sistema de rotação Milho/Soja apresentou um valor de PAGp acumulado relativamente baixo, de 3424,83 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ (Fig. 10), o qual é atribuído ao SPD, contribuindo com o acúmulo de carbono no sistema e ao eficiente sistema de drenagem aportado pelos camalhões. Estudos realizados por Bayer et al. (2006) em diferentes condições brasileiras, estimaram grande acúmulo de carbono no solo em lavouras de grãos cultivadas em SPD, podendo atingir no Sul do Brasil 480 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (ANDRADE et al., 2010). O SPD com inclusão de leguminosas apresenta-se como um manejo conservacionista que tem a capacidade de reduzir o PAGp de

sistemas de produção agrícola, devido à sua eficácia em sequestrar carbono no solo e reduzir as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O. Não obstante, esse potencial de mitigação de GEE torna-se mais relevante após 10 anos de implementado o sistema, associado ao desenvolvimento de uma melhor estrutura do solo, aumentando a agregação e a aeração do solo (ALCALDE, 2011; BAYER et al., 2006).

À semelhança do verificado para a rotação Milho/Soja e Área Natural, a emissão de CH₄ na Pastagem Melhorada contribuiu muito pouco para o PAGp acumulado ao longo de dois anos (Fig. 10), com 98,9% na forma de N₂O e 1,08% na forma de CH₄. Andrade et al. (2010) relatam que o manejo racional do gado contribui significativamente para a mitigação de emissão de CH₄ em sistemas de pastagens. A deposição de N pelas fezes e urina do gado pode aumentar os teores de N mineral no solo, incentivando as emissões de N₂O (BRUNES e COUTO, 2017). No entanto, a quantidade de N₂O produzida em sistemas de pastagem associada à presença de fezes e urina animal é muito variável, dependente do tipo e manejo do solo (IRISSARI, 2009). Em relação a outros estudos, o PAGp do ano 1, de 8.125 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ (Apêndice C), e do ano 2, de 2.283 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ (Apêndice F), na Pastagem Melhorada foram superiores aos reportados por Piva et al. (2014), que obtiveram PAGp 559 kg CO₂ equiv. ha⁻¹ ano⁻¹ em solo sob sistema de integração lavoura-pecuária.

Em relação às hipóteses do presente estudo a maioria foram aceitas, exceto “A introdução da rotação milho/soja em sistema plantio direto nas terras baixas potencializa as emissões de N₂O em relação ao cultivo de arroz irrigado e pastagem melhorada em rotação com pecuária extensiva”, encontrando-se totalmente o contrário, onde a área de pastagem melhorada com pecuária extensiva foi a de maior emissão de N₂O no acumulo dos dois anos de avaliação, e a emissão de N₂O no sistema de rotação milho/soja igualou-se à emissão do sistema Arroz/Pousio, porém mostrando-se com baixo potencial de emissão de GEE.

7. CONCLUSÕES

O sistema Arroz/Pousio apresenta fluxo, emissão total de CH₄ e Potencial de Aquecimento Global superiores às áreas de Pastagem Melhorada, Rotação Milho/Soja em SPD sobre camalhões de bases larga e Natural em terras baixas.

O sistema de Pastagem Melhorada com presença de pecuária extensiva potencializa o fluxo e emissão total de N₂O do solo, em relação aos sistemas Arroz/Pousio, rotação Milho/Soja em SPD sobre camalhões de base larga e Área Natural. Ainda assim, a Pastagem Melhorada apresenta potencial mitigador de emissões de gases de efeito estufa em terras baixas, relativamente ao tradicional sistema Arroz/Pousio.

O N₂O é o principal componente do Potencial de Aquecimento Global das áreas de Pastagem Melhorada e Rotação Milho/Soja em SPD sobre camalhões de base larga, bem como da Área Natural, enquanto que o CH₄ é o GEE predominante no sistema Arroz/Pousio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC observatório - Agricultura de Baixo Carbono. **Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira: Uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do Plano ABC de 2012 a 2023**. Observatório do Plano ABC. Sumário executivo, 2015. Disponível em: <http://mediadrawer.gvces.com.br/abc/original/gv-agro_09_em-simples.pdf>. Acesso em: 19 set. 2017.
- ACTON, S.D.; BAGGS, E.M. Interactions between N application rate, CH₄ oxidation and N₂O production in soil. **Biogeochemistry**, v. 103, p. 15-26, 2011.
- ALCALDE, L. F. E. **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo**. 2011. 118 f. Tese (Doutor Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.
- ALLARD, V.; SOUSSANA, J. F.; FALCIMAGNE, R.; BERBIGIER, P.; BONNEFOND, J. M.; CESCHIA, E.; D’HOUR, P.; HÉNAULT, C.; LAVILLE, P.; MARTIN, C.; PINARÉS-PATINO, C. The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO₂, N₂O and CH₄) of semi-natural grassland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 121, p. 47–58, 2007.
- ALLEN, A. G.; JARVIS, S. C.; HEADON, D. M. Nitrous oxide emissions from soils due to inputs of nitrogen from excreta return by livestock on grazed grassland in the U. K. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 4, p. 597-607, 1996.
- ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto e seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. 1. ed. Porto Alegre: Genesis, 216 p., 2006.
- ALVES, M. da S. **Emissão de gases de efeito estufa e estoque de carbono no sistema solo-planta em função do sistema de produção e da aplicação superficial de corretivo da acidez**. 2016. 75f. Dissertação (Mestre em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronomicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu-SP, 2016.
- ANDRADE, A. G. de; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (eds). **Manejo e Conservação do Solo e da Água no contexto das Mudanças Ambientais**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, p. 377-388, 2010.

APAZA, G. E.; ARANA, I.; PAZ, O.; VEIZAGA, A. W. Inventario de gases de efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria boliviana. **CienciAgro**, v. 2, n. 3, p.351-370, 2012.

BAETHGEN, W. E.; MARTINO, D. L. Emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores agropecuario y forestal del Uruguay y oportunidades en el mercado de carbono. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 9, n. 2, p.127-134, 2001.

BALBINO, L. C.; VILELA, L.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P. de; PULROLNIK, K.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. L. S. da. **Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) região sul**. Edição: 2012. Fonte/imprenta: Brasília: Embrapa, 2012, 83f. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/956913>>. Acesso em: 18 dez 2017.

BASTOS, D. F. **Emissão de Gases de efeito estufa em solo sob integração lavoura-pecuária com ovinos no sul do Brasil**. 2014. 68f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. C.; DIECKWO, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. da S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 55-11, 2011.

BAYER, C.; COSTA, F. de S.; PEDROSO, G. M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO, E. S.; LIMA, M. A. de; FRIGHETO, R. T. S.; GOMES, J.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, v. 162, p. 60–69, 2014.

BAYER, C.; GOMES, J.; VIEIRA, F. C. B.; ZANATTA, J. A.; PICCOLO, M. de C.; DIECKOW, J. Methane emission from soil under long-term no-till cropping system. **Soil and Tillage Research**, v.124, p.1-7, 2012.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two brazilian cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006

BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; PEDROSO, G. M.; ROSA, C. M. da; CAMARGO, E. S.; BOENI, M.; MARCOLIN, E.; REIS, C. E. S. dos; SANTOS, D. C. dos. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission

from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v. 145, p. 118–125, 2015.

BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; SOUSA, R. O.; SILVA, L. da S.; SCIVITTARO, W. B.; SILVA, P. R. F. da; GIACOMINI, S. J.; CARMONA, F. de C. Strategies to mitigate methane emissions in lowland rice fields in South Brazil. **Better Crops**, v. 97, n. 1, p. 27-29, 2013.

BEDDINGTON, J. R.; ASADUZZAMAN, M.; CLARK, M. E.; BREMAUNTZ, A. F.; GUILLOU, M. D.; HOWLETT, D. F. B.; JAHN, M. M.; LIN, E.; MAMO, T.; NEGRA, C.; NOBRE, C. A.; SCHOLE, R. J.; BO, N. V.; WAKHUNGU, J. What Next for Agriculture after Durban? **Science**, v. 335, n. 6066, p. 289-290, 2012.

BENDER, M.; CONRAD, R. Methane oxidation activity in various soils and freshwater sediments: occurrence, characteristics, vertical profiles, and distribution on grain size fractions. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. 8, p. 16531-16540, 1992.

BERCHIN, I. I.; MARCON, G. A.; RIBEIRO, J. M. P.; ANDRADE GUERRA, J. B. S. O. de A. Estratégias do setor agrícola brasileiro para o desenvolvimento de uma economia verde no Brasil. **Revista gestão & sustentabilidade ambiental**, n. 4, p. 14-43, 2015.

BORBA, B. S. M. C.; LUCENA, A. F. P.; RATHMANN, R.; COSTA, I. V. L.; NOGUEIRA, L. P. P.; ROCHEDO, P. R. R.; BRANCO, D. A. C.; JÚNIOR, M. F. H.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. Energy-related climate change mitigation in Brazil: Potential, abatement costs and associated policies. **Energy Policy**, v. 49, p. 430-441, 2012.

BRAGA, G. J. Sequestro de carbono em pastagens cultivadas. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 336p.

BROWN, L.; BROWN, S. A.; JARVIS, S. C.; SYED, B.; GOULDING, K. W. T.; PHILLIPS, V. R.; SNEATH, R. W.; PAIN, B. F. An inventory of nitrous oxide emissions from agriculture in the UK using the IPCC methodology: emission estimate, uncertainty and sensitivity analysis. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 8, p. 1439-1449, 2001.

BRUNES, L. C.; COUTO, V. R. M. Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de produção de bovinos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 254, p. 287-299, 2017.

BRYAN, E.; RINGLER, C.; OKOBA, B.; KOO, J.; HERRERO, M.; SILVESTRI, S. Can agriculture support climate change adaptation, greenhouse gas mitigation and rural livelihoods? Insights from Kenya. **Climatic Change**, v. 188, p. 151-165, 2013.

BUSS, G. L. **Emissões de Metano e Óxido Nitroso em Cultivo de Arroz Irrigado por Aspersão, Alagamento Contínuo e Intermitente**. 87f. Dissertação (Mestre em Ciência). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. 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. 123f. Tese (Doutor em Ciências). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2016.

CABALLERO, S. U.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; SOARES, L. H. de B.; BODDEY, R. M. Mudanças ambientais: sequestro de carbono e emissões de gases de efeito estufa pelo solo. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (eds) **Manejo e Conservação do Solo e da Água no contexto das Mudanças Ambientais**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, p. 377-388, 2010.

CAMARGO, E. S. **Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado**. 2015. 138f. Tese (Doutor em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

CARDOSO, A. da S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central**. Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ, 2012.

CARLSON, K. M.; GERBER, J. S.; MUELLER, N. D.; HERRERO, M.; MacDONALD, G. K.; BRAUMAN, K. A.; HAVLIK, P.; O'CONNELL, C. S.; JOHNSON, J. A.; SAATCHI, S.; WEST, P. C. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 63-71, 2016.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Procedimentos de amostragem do solo. In: **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2. ed. São Paulo, CETESB, p. 1-44, 1999.

CHAPUIS-LARDY, E.; WRAGE, N.; METAY, A.; CHOTTE, J. L.; BERNOUX, M. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, v. 13, p.1-17, 2007.

CHEN, W. et al. Annual methane uptake by temperate semiarid steppes as regulated by stocking rates, aboveground plant biomass and topsoil air permeability. **Global Change Biology**, v. 17, n. 9, p. 2803-2816, 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos safra 2016/17**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_10_11_27_12_boletim_graos_agosto_2017.pdf>. Acesso em: 19 set. 2016.

CONRAD, R. Control of microbial methane production in wetland rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, p.59-69, 2002.

COSTA, F. S. **Estoques de carbono orgânico e efluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no subtropical brasileiro**. 129f. Tese (Doutor em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CUNHA, N. G.; COSTA, F. A. **Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 6 p. (Embrapa Clima Temperado, Circular Técnica, 152).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERREIRA, R. B.; MARCHESAN, E.; COELHO, L. L.; OLIVEIRA, M. L. de; TELÓ, G. M.; FILHO, A. C.; SARTORI, G. M. S. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.45, n.12, p.2143-2149, 2015.

FIORIN, T. T.; SPOHR, R. B.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; SANTA, C. D.; DAVID G. de. Produção de silagem de milho sobre camalhões em solos de várzea. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1; p. 147-153, 2009.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (eds). **Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere**. John Willey and Sons, New York, p. 7-21, 1989.

FLECHARD, C.R. et al. Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 121, n. 1-2, p. 135-152, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Greening the economy with agriculture**. Rome, 2012. 279 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/015/i2745e/i2745e00.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; van DORLAND, R. Changes in atmospheric constituent and in radiative forcing. In: SOLOMON, D.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER H. L. **Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press. 2007. p. 129-234.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E. M. de A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p. 735-740, 2009.

GODFRAY, H. C. J.; PRETTY, J.; THOMAS, S. M.; WARHAM, E. J.; BEDDINGTON, J. R. Linking policy on climate and food, **Science**, v 331, p. 1013-1014, 2011.

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

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 151f. Tese (Doutor em Ciência do solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A de M. de (Ed.) **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 75-95

GOMES, A. da S.; PORTO, M. P.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, C. A. S. da; SOUZA, R. O.de; PAULETTO, E. A. **Rotação de Culturas em Áreas de Várzea e Plantio**

Direto de Arroz. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 65 p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos, 89).

GONZÁLEZ, A. D.; CARLSSON-KANYAMA, A. Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global: el sector agropecuario. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 11, p. 7-14, 2007.

GONÇALVES, G. K.; NETO, L. X. de M.; MENDES, F. B.; CALEFFI, H. V.; POZZEBON, N. J.; AGUER, J. L. T. Caracterização do sistema de produção de arroz agroecológico na campanha gaúcha. **Revista Científica Rural-Urcamp**, v. 19, n. 1, 2017.

GRUTZMACHER, P. **Estoque de carbono no solo e emissão de gases de efeito estufa em sistema de produção de milho com uso de lodo de esgoto.** 2016. 120f. Tese (Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônômico. Campinas, 2016.

HANSON, R. S.; HANSON, T. E. Methanotrophic bacteria. **Microbiology Reviews**, v. 60, n. 2, p. 439-471, 1996.

HARADA, H.; KOBAYASHI, H.; SHINDO, H. Reduction in greenhouse gas emissions by no-tilling rice cultivation in Hachirogata polder, northern Japan: Life-cycle inventory analysis. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, p. 668-677, 2007.

HENAULT, C.; DEVIS, X.; PAGE, S.; JUSTES, E. REAU, R.; GERMON, J. C. Nitrous oxide emission under different soil and land management conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, p.199-207, 1998.

HOUGHTON, R. A; HOUSE, J. I.; PONGRATZ, J.; VAN DER WERF, G. R.; DeFRIES, R. S.; HANSEN, M. C.; LE QUERE, C.; RAMANKUTTY, N. Carbon emissions from land use and land-cover change. **Biogeosciences**, v. 9, p. 5125-5142, 2012.

HUTSCH, B.W. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production – invited paper. **European Journal of Agronomy**, v. 14, p. 237-260, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Países.** 2016. Disponível em: < <http://paises.ibge.gov.br/#/pt/pais/brasil/info/sintese>>. Acesso em: 13 set. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE-IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [Core Writing Team, PACHAURI, R.K.; MEYER, L.A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>. Acesso em: 11 sep. 2017.

IRISARRI, P.; CARDOMO, C. Emisión de gases con efecto invernadero por suelos agrícolas. In: IRISARRI, P. (ed). **Emisiones de metano y óxido nítrico: principales gases de efecto invernadero producidos por el sector agropecuario en Uruguay**. Montevideo, Facultad de Agronomía, Cap. 1, p. 1-24, 2009.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutr Cycl Agroecosyst**, v. 82, p. 161-173, 2008.

JOSE, V. S.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; RATNAKARAN, A. P.; LEES, A. M.; AL-HOSNI, Y. A. S.; SULLIVAN, M.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J. B. Modeling of greenhouse gas emission from livestock. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, n. 27, p. 1-10, 2016.

LARA JUNIOR, J. A. de. **Avaliação de cultivares de soja semeadas em solos de várzea com e sem sistema de camalhões**. 46f. Dissertação (Mestre em Agronomia). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2013.

KETTUNEN, R. **N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from agricultural organic and mineral soils grown with *Phleum pratense* and mixed *Trifolium pratense*/*P. pratense* under elevated CO₂ concentration**. 2007. 32f. Tese (Doutor em biologia). Faculdade de Biociências. University of Joensuu. Joensuu, 2007.

KIM, S. Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, P. J. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation in paddy soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 161, p. 130-136, 2012.

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.

KHALIL, M.I., BAGGS, E.M. CH₄ oxidation and N₂O emissions at varied soil waterfilled pore spaces and headspace CH₄ concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 1785–1794, 2005.

KLEIN, C. A. M. de; BARTON, L.; SHERLOCK, R. R.; LI, Z.; LITTLEJOHN, R. P. Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soil. **Australian Journal of Soil Research**, 2003, v. 41, p. 381-399, 2003.

LAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. da S. PANOSSO, A. R.; JUNIOR, N. L. S. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.5, p.497–504, 2015.

LEE, H. J.; KIM, S. Y.; KIM, P. J.; MADSEN, E. L.; JEON, C. O. Methane emission and dynamics of methanotrophic and methanogenic communities in a flooded rice field ecosystem. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 88, p. 195-212, 2014.

LINQUIST, B.; GROENIGEN, K.J. van; ADVIENTO-BORBE, M.A.; PITTELKOW, C.; KESSEL, C. van. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. **Global Change Biology**, v. 18, p. 194-209, 2012.

MA, Y.; SUN, L.; ZHANG, X.; YANG, B.; WANG, J.; YIN, B.; YAN, X.; XIONG, Z. Mitigation of nitrous oxide emissions from paddy soil under conventional and no-till practices using nitrification inhibitors during the winter wheat-growing season. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 627–635, 2013.

MACKENZIE, A. F.; FAN, M. X.; CADRIN, F. Nitrous oxide emission as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations and nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 77, n. 2, p. 145-162, 1997.

MAJUMDAR, D. **Past, present and future of Nitrous Oxide emissions from rice fields: a treatise**. Cap. 3. LIVINGSTON, J. V. (eds). Trends in Air Pollution Research, Nova Science Publisher, Inc, New York, p. 53-130, 2005.

MARENGO, J A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: Análise Conjunta Brasil-Reino Unido sobre os Impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia**. 2011. 55 p. Disponível em:
<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio_port.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2017.

MATTHEWS, R.; WASSMANN, R. Modelling the impacts of climate change and methane emission reductions on rice production: a review. **European Journal of Agronomy**, v. 19, p.573-598, 2003.

MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O.; SCHIMEL, D.S. (Ed.). **Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin, Wiley, p. 175-187, 1989.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSO, A. R.; JR, N. L. S. efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1720-1728, 2013.

MOTERLE, D. F. **Efluxo de metano em solo sob manejos de irrigação e cultivares de arroz irrigado**. 2011. 146f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

MOTERLE, D. F.; SILVA, L. S. da; MORO, V. J.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; AVILA, L. A. de; BUNDT, Â. Da C. Methane efflux in rice paddy field under different irrigation managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 431-437. 2013.

NETO, E. R. de S. **Perdas de nitrogênio pela emissão de óxido nitroso (N₂O) e sua relação com a decomposição da serapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica**. 2008. 82 f. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2008.

OGLE, S. M.; OLANDER, L.; WOLLENBERG, L.; ROSENSTOCK, T.; TUBIELLO, F.; PAUSTIAN, K.; BUENDIA, L.; NIHART, A.; SMITH, P. Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action. **Global Change Biology**, v. 20, p.1-6, 2014.

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, n. 4, p. 623-634, 2015.

O'MARA, F. P. The role of grasslands in food security and climate change. **Annals of Botany**, v. 110, p. 1-8, 2012.

PARKIN, T. B.; KASPAR, T. C. Nitrous oxide emissions from corn-soybean systems in the Midwest. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n.4, p. 1496-1506, 2006.

PAULINO, V. T.; TEIXEIRA, E. M. L. Sustentabilidade de pastagens – Manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa. Produção animal sustentável, **Ecologia de Pastagens, IZ, APTA/SAA**, p. 3-4, 2009.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; JR, J. Z.; MARTINS, S. C.; ÁVILA, A. M. H. **Diretrizes para uma Economia Verde no Brasil: Avanços Tecnológicos para a Agricultura Familiar**. Fundação Brasileira Para O Desenvolvimento Sustentável, 2015. 39 p. (Coleção De Estudos Sobre Diretrizes Para Uma Economia Verde No Brasil). Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-551.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

PIVA, J. T.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MORAES, A. de; TOMAZI, M.; PAULETTI, V.; BARTH, G.; PICCOLO, M. de C. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferralsol. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p.87-93, 2014.

PREM, E. M.; REITSCHULER, C.; ILLMER, P. Livestock grazing on alpine soils causes changes in abiotic and biotic soil properties and thus in abundance and activity of microorganisms engaged in the methane cycle. **European Journal of Soil Biology**, v. 62, p. 22-29, 2014.

PRIMAVESI, O. **A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 41p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Documentos 72).

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. S. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, n. 3, p. 277-283, 2004.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

RAFIQUE, R. et al. Nitrous oxide emission from grazed grassland under different management systems. **Ecosystems**, v. 14, n. 4, p. 563-582, 2011.

RAMIRES, M. F. **Emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global em sistemas de culturas intercalares ao tungue (*Aleurites fordii*)**. 2014. 82f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo). Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

REAY, D. S.; NEDWELL, D. B. Methane oxidation in temperate soils: effects of inorganic N. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, p. 2059–2065, 2004.

REISSER JR., C.; TIMM, L. C.; TAVARES, V. E. Q. **Características do cultivo de pêssegos da região de Pelotas-RS, relacionadas à disponibilidade de água para as plantas**. Embrapa, 2008. 22 p. (Embrapa, Documentos 240).

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Pelotas. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. Editores técnicos Ana Cláudia Barneche de Oliveira, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 124 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 382).

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 58.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 41., 2013, Pelotas. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 124 p. Editores técnicos Beatriz Marti Emygdio, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa, Mauro Cesar Celaro Teixeira. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98253/1/livroindicacoes-milho-sorgo.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

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

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P. de; MAULI, M. M (b). Desempenho da cultura do milho implantada sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1287-1296, 2011.

ROSE, S. K.; RICHELIS, R.; SMITH, S.; RIAHI, K.; STREFLER, J.; VUUREN, D. P. V. Non-Kyoto radiative forcing in long-run greenhouse gas emissions and climate Change scenarios. **Climate Change**, v. 123, p. 511-525, 2014.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; BERTRAND, N. Nitrous Oxide Emissions Respond Differently to No-Till in a Loam and a Heavy Clay Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 5, p. 1363-1369, 2008.

ROY, A. K.; RIDDLE, C. W.; DEEN, B.; LAUZON, J.; BRUULSEMA, T. Nitrogen application rate, timing and history effects on nitrous oxide emissions from corn (*Zea mays* L.). **Canadian Journal of Soil Science**, v. 94, p. 563-573, 2014.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDENER, G. L. Conversão e balanço de energia de sistemas de produção com integração

lavoura-pecuária sob plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1193-1199, 2011.

SANTOS, H. P.; PEREIRA, L. R.; AMBROSI, I. Rotação, consorciação e sucessão de culturas. In: MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; VIOLA, E. A.; BISSOTO, V. **Indicações técnicas para a cultura de milho no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO; EMBRAPA TRIGO; EMATER/RS; FECOAGRO/RS, n. 7, Ca p. 7, p. 53-73, 2001.

SANTOS, H. P., dos; REIS, E. M. Rotação de culturas. In: SANTOS, H. P., dos; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, Cap. 1, p. 13-132, 2001.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; SPERA, S. T.; ÁVILA, A. Efeito de práticas culturais na conversão e no balanço energéticos. **Bragantia**, v. 66, n. 2; p. 299-306, 2007.

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; FARIAS, M. de O.; CORRÊA, G. da S.; LACERDA, C. L.; SILVEIRA, A. D.; SOUSA, R. O. de; PARFITT, J. M. B. Emissões de metano e de óxido nitroso em planossolo cultivado com arroz irrigado por inundação e Aspersão. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 34p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos, 236).

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. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015a. 34p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos, 236).

SCIVITTARO, W. B.; FARIAS, M. de O.; SILVA, J. T.; BUSS, G. L.; SILVEIRA, A. D.; LACERDA, C. L.; SOUSA, R. O.; SILVA, J. J. C. de. Emissões de Gases de Efeito Estufa em Área de Produção de Arroz em Função do Manejo do Solo e da Cobertura Vegetal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015b. 23p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos, 225).

SCHIRMANN, J. **Balanço de carbono e emissão de gases de efeito estufa em campo nativo do bioma pampa**. 2016. 92f. Tese (Doutor em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

SEEG (a) – Sistema de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil 1970 – 2015**. Rio de Janeiro, 2016.

SEEG (b) – Sistema de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o acordo de Paris**. Observatório do clima, 2016. 44 p. (Documento síntese).

SEEG (a) – Sistema de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Emissões do Brasil sobem 9% em 2016**. Observatório do clima 15 anos, 2017. 9p.

SEEG (b) – Sistema de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Emissões do setor de agropecuária, período 1970-2015**. Observatório do clima, 2017. 92p. (Documento de análise).

SHERESTHA, M.; SHERESTHA, P. M.; FRENZEL, P.; CONRAD, R. Effect of nitrogen fertilization on methane oxidation, abundance, community structure, and gene expression of methanotrophs in the rice rhizosphere. **The ISME Journal**, v. 4, p. 1545-1556, 2010.

SILVA, J. T. **Emissões de metano e de óxido nitroso em área de arroz irrigado influenciadas por sistemas de preparo do solo**. 2014. 72f. Dissertação (Mestre em Ciência). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2014.

SILVA, L. da S.; GRIEBELER, G.; MOTERLE, D. F.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; POCOJESKI, E. Dinâmica da emissão de metano em solos sob cultivo de arroz irrigado no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35; p. 473-481, 2011.

SILVA, J. J. C.; MELO, R.; ALMEIDA, J. R.; CORRÊA, R.; RAUPP, A. A. A.; COELHO, R.; RODRIGUES, R. C.; BASANESI, J. C. **Camalhões: Uma Opção para o Problema de Drenagem das Terras Baixas na Região Costeira da Lagoa Mirim, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 33p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos 95).

SILVA, C. A. S. da; PARFITT, J. M. B. **Drenagem Superficial para Diversificação do Uso dos Solos de Várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa, 2004. 10p. (Embrapa, Circular Técnica 40).

SILVA, J. J. C. da; RAUPP, A. A.; SILVA, C. A. S. da; THEISEN, G. **Camalhões de base larga: Uma opção para drenagem superficial de várzeas muito planas na região costeira do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa, 2006. 8p. (Embrapa, Circular Técnica 56).

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

SITAUOLA, B. K.; HANSEN, S.; SITAUTA, J. I. B.; BAKKEN, L. R. Methane oxidation potentials and fluxes in agricultural soil: effects of fertilization and soil compaction. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 323-339, 2000.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. Arroz Irrigado: **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves, 2016, 197p.

SOUSSANA, J. F.; ALLARD, V.; PILEGAARD, K.; AMBUS, P.; AMMAN, C.; CAMPBELL, C.; CESCHIA, E.; CLIFTON-BROWN, J.; CZOBEL, S.; DOMINGUES, R.; FLECHARD, C.; FUHRER, J.; HENSEN, A.; HORVATH, L.; JONES, M.; KASPER, G.; MARTIN, C.; NAGY, Z.; NEFTEL, A.; RASCHI, A.; BARONTI, S.; REES, R. M.; SKIBA, U.; STEFANI, P.; MANCA, G.; SUTTON, M.; TUBA, Z.; VALENTINI, R. Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 121, p. 121-134, 2007.

SOUSSANA, J.F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 334-350, 2010.

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

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. As principais classes de solos identificadas no Rio Grande do Sul. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Revista e ampliada. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

SUWANWAREE, P.; ROBERTSON, G. P. Methane oxidation in forest, successional, and no-till agricultural ecosystems: effects of nitrogen and soil disturbance. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1722–1729; 2005.

TANG, S.; WANG, C.; WILKES, A.; ZHOU, P.; JIANG, Y.; HAN, G.; ZHAO, M.; HUANG, D.; SCHÖNBACH, P. Contribution of grazing to soil atmosphere CH₄ exchange during the growing season in a continental steppe. **Atmospheric Environment**, v. 67, p. 170-176, 2013.

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

VAHL, L. C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A., ed. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Cap. 5, p. 119-161, 1999.

VEÇOZZI, T. A. **Eficiência agrônômica de fertilizante nitrogenado de liberação controlada e seus efeitos nas emissões de metano e óxido nitroso em arroz irrigado**. 2015. 112f. Dissertação (Mestre em Ciência). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

VERMEULEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J. S. I. Climate change and food systems. **Annual Review Environment and Resources**, v. 37, p. 195-222, 2012.

WANG, X.; ZHANG, Y.; HUANG, D.; LI, Z.; ZHANG, X. Methane uptake and emissions in a typical steppe grazing system during the grazing season. **Atmospheric Environment**, v. 105, p. 14-21, 2015.

WATSON, C. J.; FOY, R. H. Environmental impacts of nitrogen and phosphorus cycling in grassland systems. **Outlook on Agriculture**, v. 30, p. 117–27, 2001.

WESZ, J. **Mitigação das emissões de metano e óxido nitroso em Planossolo pela adequação do manejo da água em cultivo de arroz irrigado**. 2012. 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

WILLIAMS, D. LI.; INESON, P.; COWARD, P. A. Temporal variations in nitrous oxide fluxes from urine-affected grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 779-788, 1999.

ZANATTA, J.A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 79f. Tese (Doutor em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

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. 101f. Tese (Doutor em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

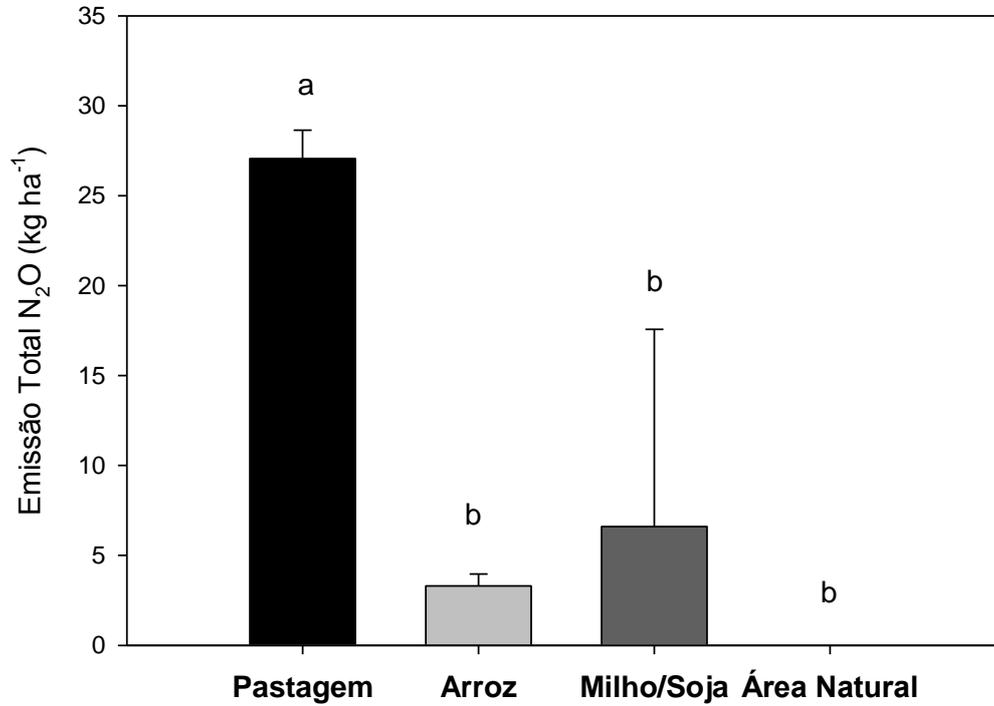
ZSCHORNACK, T.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; ANGHINONI, I. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flood-irrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 623-634, 2011.

ZSCHORNACK, T.; ROSA, C. M. da; CAMARGO, E. S.; REIS, C. E. S. dos; SCHOENFELD, R.; BAYER, C. (a). Impacto de plantas de cobertura e da drenagem do solo nas emissões de CH₄ e N₂O sob cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1163-1171, 2016.

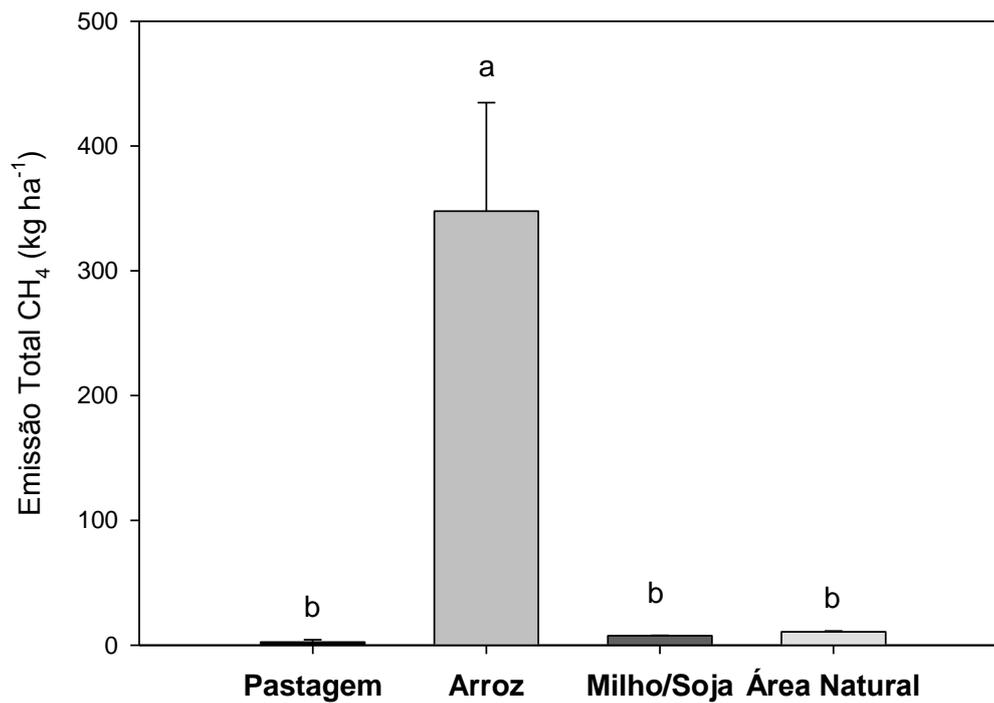
ZSCHORNACK, T.; ROSA, C. M. da; PEDROSO, G. M.; MARCOLIN, E.; SILVA, P. R. F. da; BAYER, C. (b). Mitigation of yield-scaled greenhouse gas emissions in subtropical paddy rice under alternative irrigation systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, p. 61-73, 2016.

Apêndices

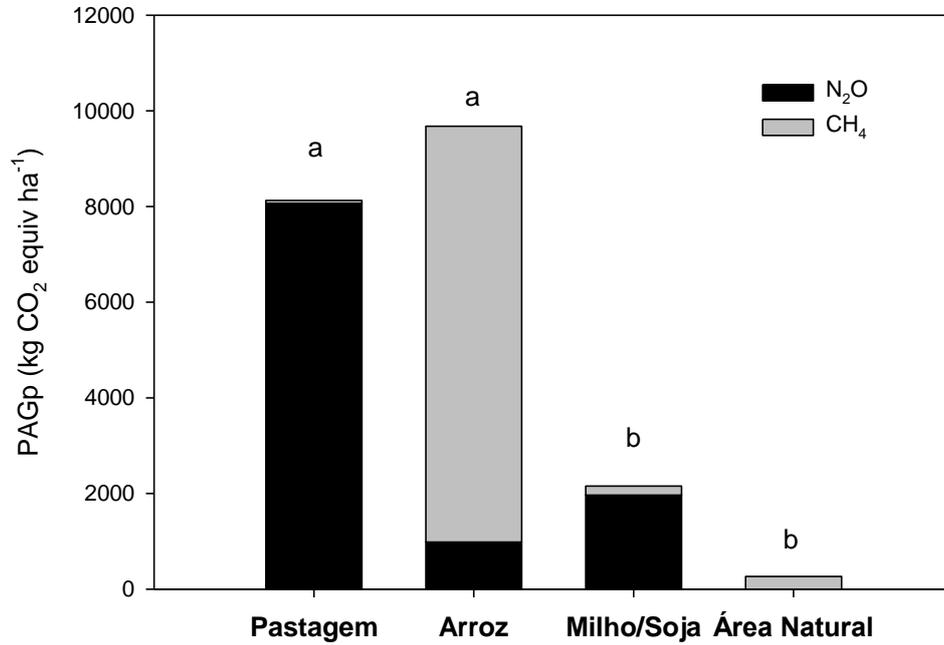
Apêndice A. Emissão total acumulada de N_2O em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 1.



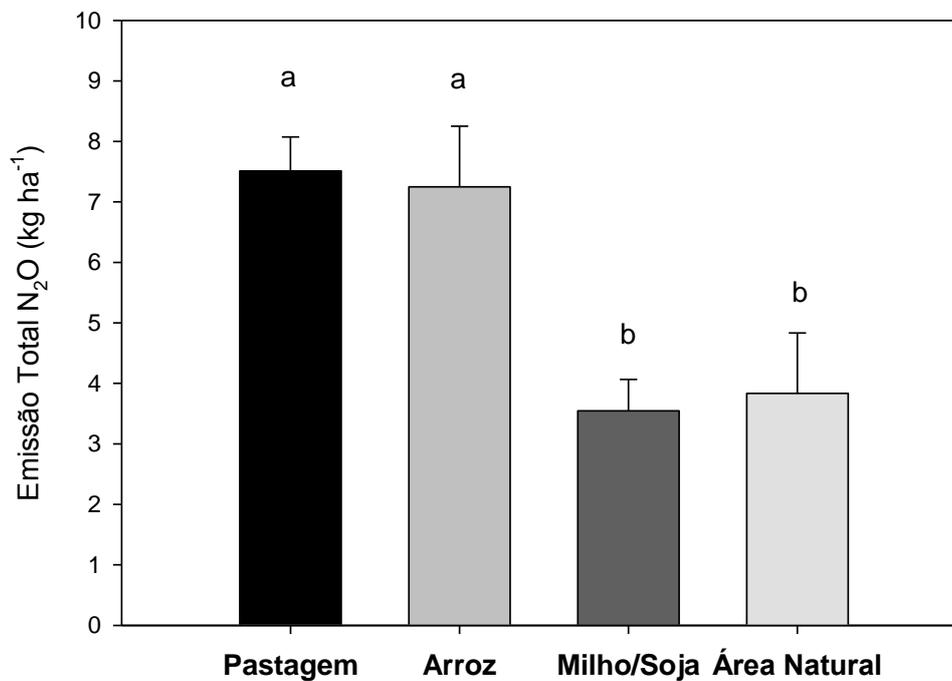
Apêndice B. Emissão total acumulada de CH_4 em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 1.



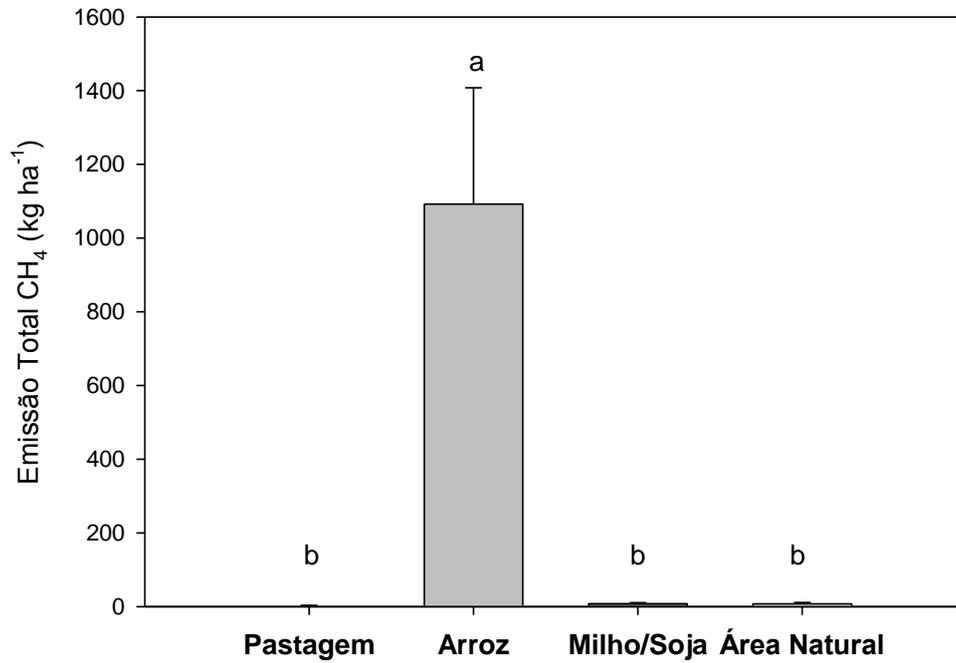
Apêndice C. Potencial de Aquecimento Global acumulado em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 1.



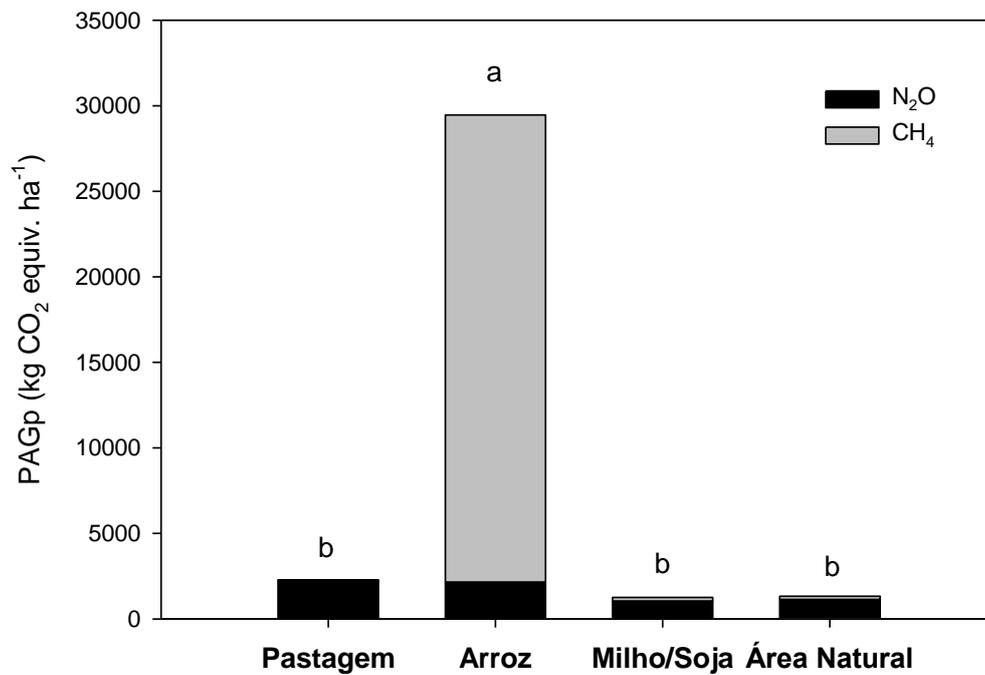
Apêndice D. Emissão total acumulada de N₂O em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 2.



Apêndice E. Emissão total acumulada de CH₄ em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 2.



Apêndice F. Potencial de Aquecimento Global acumulado em sistemas de produção e área natural de terras baixas, no ano 2.



Apêndice G. Fluxos de N₂O (mg N₂O ha⁻¹ h⁻¹) e CH₄ (g CH₄ ha⁻¹ h⁻¹) por repetição ao longo de dois anos, media e desvio padrão nos sistemas de produção e área natural em terras baixas.

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Entressafra 2015											
P. M	30/7/15	1.726,98	2.832,61	2.685,83	2.415,14	600,46	0,98	0,74	0,60	0,77	0,19
	10/8/15	4.745,94	2.654,20	4.041,19	3.813,78	1.064,25	0,15	1,04	-0,32	0,29	0,69
	24/8/15	1.058,07	2.110,29	1.319,68	1.496,01	547,83	0,30	0,37	0,33	0,33	0,03
	8/9/15	2.097,75	1.008,84	484,78	1.197,12	822,80	0,16	-0,26	0,00	-0,03	0,21
	28/9/15	1.933,83	649,92	714,70	1.099,48	723,29	1,71	1,96	1,96	1,87	0,15
	5/10/15	809,59	1.322,88	414,51	849,00	455,46	0,42	0,73	-0,06	0,36	0,40
	19/10/15	414,51	2.475,51	2.145,24	1.678,42	1.106,97	0,00	0,71	0,15	0,29	0,37
	9/11/15	427,29	1.067,10	392,65	629,01	379,79	0,04	1,42	0,34	0,60	0,73
23/11/15	411,31	679,11	80,29	390,24	299,97	0,30	2,10	0,27	0,89	1,05	
M/S	30/7/15	102,22	1.002,15	1.625,33	909,90	765,73	0,28	0,20	0,62	0,37	0,23
	10/8/15	1.554,28	1.281,40	322,75	1.052,81	646,80	-0,40	0,11	0,09	-0,07	0,29
	24/8/15	227,52	862,37	475,57	521,82	319,94	0,23	-0,03	0,13	0,11	0,13
	8/9/15	-468,26	310,90	2.485,42	776,02	1.530,79	-0,42	-0,01	-0,34	-0,26	0,21
	28/9/15	354,63	597,26	3.654,80	1.535,56	1.839,32	-0,10	0,18	0,08	0,05	0,14
	5/10/15	244,25	159,94	307,93	237,37	74,24	0,79	-0,14	-0,21	0,15	0,56
	19/10/15	94,73	269,44	803,16	389,11	369,07	-0,12	0,01	0,03	-0,03	0,08
	9/11/15	564,67	177,92	423,64	388,74	195,72	1,17	0,00	0,22	0,47	0,62
23/11/15	649,37	2.110,13	1.871,62	1.543,71	783,65	0,20	0,84	0,32	0,45	0,34	
A/P	30/7/15	405,37	-122,44	344,94	209,29	288,87	16,48	7,47	15,33	13,09	4,90
	10/8/15	1.542,47	527,18	515,27	861,64	589,64	1,50	1,27	1,26	1,34	0,14
	24/8/15	199,95	194,93	59,21	151,36	79,85	0,51	2,32	1,20	1,34	0,92
	8/9/15	155,10	172,70	87,95	138,58	44,73	0,60	4,34	3,64	2,86	1,99
	28/9/15	-57,53	-120,26	-159,96	-112,58	51,64	2,18	11,46	4,05	5,90	4,90
	5/10/15	9,55	-85,38	3,51	-24,11	53,15	-0,17	0,71	1,40	0,65	0,79
	19/10/15	-113,30	-44,44	-320,33	-159,36	143,60	0,37	5,17	1,20	2,25	2,56
	9/11/15	89,48	969,02	236,28	431,59	471,18	-0,36	3,13	0,50	1,09	1,81
23/11/15	27,45	28,08	105,67	53,73	44,98	1,45	2,70	0,87	1,67	0,94	

T= Tratamentos. DP= Desvio Padrão. Rep I, II, III= Repetição 1, 2, 3. P. M.= Pastagem Melhorada. M/S= Milho/Soja. A/P= Arroz/Pousio. Á. N.= Área Natural.

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Entressafra 2015											
Á. N	30/7/15	-28,04	-119,51	-291,31	-146,28	133,66	3,63	3,06	1,45	2,71	1,13
	10/8/15	180,19	-183,26	112,83	36,59	193,35	10,92	10,23	4,85	8,67	3,32
	25/8/15	235,49	140,41	-604,00	-76,03	459,70	4,26	4,30	0,88	3,15	1,96
	8/9/15	-132,24	-85,10	603,70	128,79	411,96	-0,62	1,76	2,10	1,08	1,48
	29/9/15	133,26	-83,89	-99,52	-16,72	130,12	-6,51	-4,86	3,81	-2,52	5,54
	13/10/15	-15,93	-27,41	-21,23	-21,52	5,74	0,94	2,39	1,67	1,67	0,72
	27/10/15	49,70	-107,81	41,09	-5,67	88,56	2,71	2,90	2,18	2,60	0,37
	12/11/15	-10,32	-332,27	-3,73	-115,44	187,81	5,14	5,08	3,09	4,44	1,17
24/11/15	-32,77	-36,70	-14,33	-27,94	11,94	2,02	1,78	0,91	1,57	0,58	
Safra 2015/2016											
P. M	30/11/15	1.184,06	2.139,71	2.148,66	1.824,14	554,35	0,17	1,15	0,89	0,73	0,51
	7/12/15	16.468,69	18.622,44	24.650,77	19.913,97	4.241,19	0,02	0,39	0,11	0,17	0,19
	14/12/15	32.632,55	45.467,43	35.033,21	37.711,06	6.823,61	0,18	0,04	0,09	0,11	0,07
	22/12/15	20.817,59	23.712,58	15.486,98	20.005,72	4.172,47	0,18	0,47	0,05	0,23	0,21
	28/12/15	28.190,11	28.221,61	23.641,93	26.684,55	2.635,03	1,75	2,23	1,67	1,88	0,30
	4/1/16	9.285,50	7.952,27	10.074,47	9.104,08	1.072,67	0,19	-0,23	-0,02	-0,02	0,21
	11/1/16	4.478,65	11.949,73	13.455,94	9.961,44	4.807,59	-0,17	0,04	-0,02	-0,05	0,11
	18/1/16	253,66	1.275,07	825,08	784,60	511,91	0,77	0,94	0,85	0,85	0,09
	25/1/16	-43,33	-56,05	-207,60	-102,33	91,39	---	---	---	---	---
	1/2/16	182,61	-255,46	468,50	131,88	364,64	-0,26	-0,27	0,40	-0,04	0,38
	11/2/16	318,45	340,05	-537,00	40,50	500,24	1,00	0,86	0,23	0,70	0,41
	15/2/16	126,61	340,21	340,21	269,01	123,32	0,00	-0,21	-0,66	-0,29	0,34
	22/2/16	16.823,66	377,73	957,46	6.052,95	9.332,21	0,85	0,50	0,74	0,70	0,18
	29/2/16	156,12	144,61	301,97	200,90	87,71	-0,08	0,01	0,23	0,05	0,16
	7/3/16	136,24	190,63	128,91	151,93	33,72	0,38	0,40	0,83	0,53	0,25
	14/3/16	264,51	662,16	662,16	529,61	229,58	-0,21	0,55	-0,83	-0,16	0,69
	22/3/16	138,88	551,49	967,19	552,52	414,15	0,07	0,50	-2,21	-0,55	1,46
28/3/16	198,90	728,91	2.162,70	1.030,17	1.015,97	-0,08	-0,04	1,62	0,50	0,97	
4/4/16	80,78	320,27	203,11	201,39	119,76	0,67	0,40	-5,69	-1,54	3,60	
20/4/16	530,95	703,82	474,71	569,83	119,40	1,53	1,71	1,39	1,55	0,16	
M/S	17/12/15	4.644,44	4.110,32	5.031,65	4.595,47	462,61	14,72	15,62	14,67	15,00	0,53
	22/12/15	3.654,18	138,58	2.801,21	2.197,99	1833,78	0,89	0,12	0,28	0,43	0,41
	28/12/15	11.509,08	14.242,63	13.400,66	13.050,79	1399,96	4,55	4,37	1,57	3,50	1,67
	4/1/16	1.488,60	1.729,02	5.262,89	2.826,84	2113,11	0,45	0,65	1,62	0,91	0,63

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Safra 2015/2016											
M/S	11/1/16	3.992,84	2.596,97	4.973,42	3.854,41	1194,26	0,71	-0,48	0,64	0,29	0,67
	12/1/16	2.110,63	2.372,39	4.494,25	2.992,42	1307,19	-0,24	0,03	0,81	0,20	0,55
	13/1/16	259,34	1.504,97	3.652,18	1.805,49	1716,27	-2,87	-0,56	0,11	-1,11	1,56
	15/1/16	506,20	899,12	1.891,62	1.098,98	714,01	0,42	0,53	0,26	0,41	0,14
	18/1/16	552,40	389,97	887,76	610,05	253,85	0,82	0,25	0,48	0,52	0,29
	25/1/16	485,70	456,24	774,91	572,28	176,10	0,65	0,03	-0,07	0,20	0,39
	1/2/16	720,76	634,66	867,20	740,87	117,57	0,12	0,23	0,05	0,14	0,09
	11/2/16	809,82	592,02	650,36	684,07	112,74	1,55	-0,04	1,01	0,84	0,81
	15/2/16	3.890,92	1.504,44	4.282,86	3.226,07	1503,80	-0,33	0,76	0,33	0,26	0,55
	22/2/16	6.155,24	3.180,06	8.980,70	6.105,33	2900,64	1,20	1,43	0,68	1,10	0,38
	29/2/16	273,45	410,33	323,60	335,79	69,25	1,16	1,66	1,05	1,29	0,33
	7/3/16	-45,18	-248,99	-0,75	-98,31	132,37	0,58	0,82	0,78	0,72	0,13
	14/3/16	1.206,65	162,74	178,50	515,96	598,21	1,87	-0,09	-0,65	0,38	1,32
	22/3/16	67,06	-776,55	250,84	-152,88	547,87	-0,09	-1,15	0,13	-0,37	0,68
	28/3/16	238,88	827,86	-639,95	142,26	738,66	-0,35	0,63	-0,87	-0,20	0,76
4/4/16	96,67	-71,41	-233,86	-69,53	165,27	0,40	-0,26	0,37	0,17	0,37	
20/4/16	-267,00	-129,03	-16,09	-137,37	125,67	0,06	0,96	3,48	1,50	1,77	
A/P	28/12/15	453,69	389,62	1.198,27	680,53	449,52	0,20	0,16	0,81	0,39	0,37
	4/1/2016	-27,51	869,36	167,91	336,59	471,63	0,05	1,08	-0,38	0,25	0,75
	11/1/16	-27,82	930,32	207,67	370,06	499,28	0,50	0,12	0,89	0,50	0,38
	14/1/16	240,09	512,62	222,65	325,12	162,61	-0,53	-0,01	-0,10	-0,21	0,28
	15/1/16	315,03	429,13	-17,67	242,16	232,14	-0,30	-0,92	-0,86	-0,70	0,34
	18/1/16	2.223,46	2.279,90	1.587,51	2.030,29	384,50	0,15	0,27	0,17	0,20	0,07
	21/1/16	2.369,03	2.352,16	1.614,51	2.111,90	430,83	0,42	-0,33	0,18	0,09	0,38
	25/1/16	2.680,58	1.508,79	216,74	1.468,70	1232,41	0,25	-0,61	0,37	0,00	0,53
	1/2/16	1.284,09	965,60	168,37	806,02	574,73	1,51	0,60	3,06	1,73	1,25
	11/2/16	-107,02	5,65	-48,59	-49,99	56,35	140,27	135,88	69,98	115,38	39,38
	15/2/16	-176,79	-57,88	61,92	-57,59	119,36	135,70	81,98	66,80	94,83	36,20
	22/2/16	6.534,30	11.848,49	11.595,23	9.992,67	2997,72	163,03	224,84	165,14	184,33	35,09
	29/2/16	-176,46	112,26	-31,10	-31,77	144,36	176,34	306,31	188,36	223,67	71,82
	7/3/16	46,06	19,35	-407,81	-114,13	254,68	160,05	255,49	125,18	180,24	67,46
14/3/16	-571,22	-149,70	-52,22	-257,71	275,85	158,51	150,49	116,40	141,80	22,36	

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep II	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Safra 2015/2016											
A/P	22/3/16	-103,85	-34,15	118,10	-6,63	113,50	196,64	138,62	163,93	166,40	29,09
	28/3/16	24,28	1.601,41	469,69	698,46	813,07	218,87	264,89	186,22	223,33	39,52
	4/4/16	-43,69	-137,73	2,78	-59,55	71,59	523,82	82,95	149,57	252,11	237,65
	20/4/16	220,48	-33,85	-692,77	-168,71	471,33	391,85	120,59	272,75	261,73	135,97
Á. N.	8/12/15	29,41	-165,57	-196,59	-110,91	122,51	-0,69	3,00	1,47	1,26	1,85
	15/12/15	-48,49	-250,88	170,76	-42,87	210,88	0,92	1,89	2,01	1,61	0,60
	29/12/15	-148,46	-164,37	140,95	-57,29	171,87	1,49	2,40	2,22	2,04	0,48
	5/1/16	-41,54	148,73	-670,53	-187,78	428,76	1,01	2,17	7,65	3,61	3,55
	19/1/16	-409,37	-29,42	-665,51	-368,10	320,04	0,16	-0,40	-0,78	-0,34	0,47
	10/2/16	-71,54	183,22	74,37	62,02	127,83	1,57	0,48	0,01	0,69	0,80
	23/2/16	-117,67	-120,03	-662,27	-299,99	313,74	1,05	-0,16	-0,78	0,03	0,93
	8/3/16	-0,25	-0,42	-0,29	-0,32	0,09	-0,04	-0,06	-0,05	-0,05	0,01
	23/3/16	1,69	1,59	1,82	1,70	0,11	0,27	0,25	0,28	0,27	0,01
	4/4/16	78,38	92,48	99,01	89,96	10,54	1,36	0,58	0,78	0,91	0,40
20/4/16	-371,25	182,03	81,42	-35,93	294,72	7,87	3,40	3,31	4,86	2,61	
Entressafra 2016											
P. M.	2/5/16	501,26	1.107,89	758,78	789,31	304,46	0,32	1,44	1,58	1,11	0,69
	12/5/16	284,63	266,57	93,65	214,95	105,44	1,04	0,97	0,61	0,87	0,23
	23/5/16	544,21	983,08	135,53	554,27	423,86	0,31	-0,72	1,00	0,20	0,87
	6/6/16	-225,11	702,34	342,53	273,25	467,59	0,27	0,26	0,85	0,46	0,34
	13/6/16	624,24	699,71	1.104,74	809,56	258,40	0,23	1,04	0,54	0,60	0,41
	20/6/16	1.647,21	1.469,69	2.040,03	1.718,98	291,86	0,24	0,07	0,37	0,23	0,15
	28/6/216	5.783,21	6.950,33	10.091,13	7.608,22	2.228,04	1,80	1,30	0,20	1,10	0,82
	4/7/16	3.881,56	4.219,49	4.234,72	4.111,93	199,64	-0,28	0,60	0,46	0,26	0,47
	11/7/16	2.991,20	4.567,76	3.703,56	3.754,17	789,50	0,93	0,84	-0,16	0,54	0,60
	18/7/16	3.824,29	8.023,98	3.456,07	5.101,45	2.537,67	0,19	0,11	0,12	0,14	0,04
	25/7/16	1.499,01	4.319,41	2.532,97	2.783,80	1.426,83	-0,01	-0,04	-0,07	-0,04	0,03
	1/8/16	3.206,86	3.010,99	2.660,04	2.959,29	277,05	-0,53	-0,21	0,57	-0,05	0,57
	11/8/16	1.574,99	1.139,53	893,67	1.202,73	345,03	-0,33	-0,18	3,09	0,86	1,93
	15/8/16	1.991,83	206,35	1.760,95	1.319,71	971,09	0,21	0,43	-0,43	0,07	0,45
22/8/16	1.095,91	1.410,87	651,71	1.052,83	381,41	-0,66	-0,55	-0,81	-0,68	0,13	
1/9/16	259,77	275,67	118,41	217,95	86,57	0,58	0,47	0,09	0,38	0,26	

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Entressafra 2016											
P. M.	8/9/16	117,86	-57,54	32,77	31,03	87,71	0,25	0,36	0,04	0,22	0,16
	12/9/16	809,36	243,97	926,98	660,10	365,15	1,35	0,83	1,49	1,22	0,35
	19/9/16	1.596,48	1.332,54	1.332,54	1.420,52	152,39	0,05	-0,14	-0,55	-0,21	0,31
	26/9/16	1.453,85	650,67	1.026,18	1.043,57	401,87	0,08	-0,24	-0,24	-0,13	0,18
	3/10/16	102,36	567,08	258,13	309,19	236,53	0,77	1,80	1,08	1,22	0,53
	10/10/16	15,24	-246,30	341,39	36,77	294,44	-0,14	-0,59	-0,04	-0,26	0,29
	24/10/16	1.072,14	1.039,05	2.171,95	1.427,71	644,74	0,45	-0,38	0,49	0,19	0,49
	31/10/16	1.146,48	-6.700,87	-560,68	-2.038,36	4.127,09	0,51	-10,60	-0,24	-3,44	6,21
	7/11/16	-21,65	342,03	1.250,92	523,76	655,46	-0,34	0,20	0,17	0,01	0,30
14/11/16	144,34	40,53	353,37	179,41	159,34	-0,08	-0,12	0,14	-0,02	0,14	
M/S	2/5/16	220,83	118,16	253,99	197,66	70,82	0,32	0,07	0,29	0,23	0,13
	12/5/16	-14,09	161,14	520,00	222,35	272,25	-0,15	0,21	-0,06	0,00	0,19
	23/5/16	-332,57	-306,96	896,62	85,69	702,40	0,03	0,13	1,08	0,41	0,58
	6/6/16	202,58	23,88	147,55	124,67	91,52	0,02	0,17	0,27	0,16	0,13
	13/6/16	111,18	50,53	78,54	80,08	30,35	-0,74	0,55	0,27	0,03	0,68
	20/6/16	-432,47	266,89	48,68	-38,97	357,82	0,05	0,20	0,26	0,17	0,11
	28/6/16	192,32	-227,87	386,05	116,84	313,84	0,15	-0,23	-0,39	-0,16	0,28
	4/7/16	360,55	15,65	112,89	163,03	177,83	0,69	0,71	0,42	0,60	0,16
	11/7/16	-76,37	-24,63	-59,89	-53,63	26,43	-0,10	-0,71	-0,51	-0,44	0,31
	18/7/16	237,85	113,63	182,20	177,89	62,22	-0,07	0,25	-0,36	-0,06	0,30
	25/7/16	361,69	178,69	811,79	450,72	325,81	-0,13	-0,08	0,95	0,25	0,61
	1/8/16	84,97	1.147,02	399,90	543,96	545,48	-0,28	-0,13	0,85	0,15	0,61
	11/8/16	-64,42	-45,75	-77,80	-62,66	16,10	-0,08	-0,12	-0,11	-0,11	0,02
	15/8/16	173,76	232,03	87,80	164,53	72,56	0,20	-0,41	-0,33	-0,18	0,33
	22/8/16	-798,39	1,63	269,18	-175,86	555,47	0,70	-0,10	-0,49	0,03	0,61
	1/9/16	88,12	-220,82	166,60	11,30	204,81	-0,15	0,00	0,12	-0,01	0,14
	8/9/16	11,94	-157,57	248,33	34,23	203,86	0,23	0,33	2,90	1,15	1,51
	12/9/16	119,54	280,04	-197,81	67,26	243,18	2,28	4,93	2,16	3,12	1,57
	19/9/16	134,42	63,41	65,12	87,65	40,51	8,48	6,04	3,89	6,14	2,30
	26/9/16	-333,11	830,01	-35,56	153,78	604,24	-0,27	0,61	0,01	0,11	0,45
3/10/16	145,19	1.263,99	59,28	489,49	672,11	1,22	1,64	0,46	1,11	0,60	
10/10/16	194,97	-604,78	-318,89	-242,90	405,26	0,28	0,84	0,01	0,38	0,43	
17/10/16	218,61	52,12	468,10	246,28	209,36	-0,08	-0,02	0,23	0,04	0,17	

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Entressafra 2016											
M/S	24/10/16	-65,29	-401,46	-20,13	-162,29	208,35	0,17	-0,22	0,31	0,09	0,27
	31/10/16	-244,56	-30,78	240,36	-11,66	243,02	0,45	0,36	0,97	0,59	0,33
	7/11/16	-136,80	-169,28	-142,67	-149,58	17,30	0,34	0,82	0,59	0,58	0,24
	14/11/16	-393,69	67,59	102,47	-74,54	276,94	4,67	3,97	3,98	4,21	0,40
A/P	2/5/16	52,31	-1.261,34	-178,32	-462,45	701,40	85,71	68,65	24,81	59,73	31,42
	12/5/16	-99,01	1,13	-196,01	-97,96	98,57	269,04	531,36	107,21	302,54	214,05
	23/5/16	-416,22	-269,97	116,55	-189,88	275,27	67,88	110,19	73,71	83,92	22,93
	6/6/16	3,02	59,56	134,30	65,63	65,85	359,50	428,50	94,79	294,26	176,16
	13/6/16	118,27	-83,60	-292,60	-85,98	205,44	-25,86	144,70	-95,16	7,90	123,44
	20/6/16	860,17	92,36	-67,09	295,14	495,78	61,88	249,56	268,54	193,33	114,23
	28/6/16	2.266,11	462,14	529,81	1.086,02	1.022,55	7,99	0,87	4,93	4,59	3,57
	4/7/16	922,81	270,35	1.599,90	931,02	664,81	36,70	142,27	65,20	81,39	54,62
	11/7/16	142,14	92,51	-81,76	50,96	117,59	7,06	40,19	4,22	17,16	20,00
	18/7/16	-428,34	55,50	24,86	-115,99	270,94	65,07	83,78	64,11	70,99	11,09
	25/7/16	657,17	791,05	1.081,62	843,28	216,99	11,03	65,26	30,11	35,46	27,51
	1/8/16	-202,45	760,82	-216,64	113,91	560,29	14,15	102,71	13,20	43,35	51,41
	11/8/16	-90,03	281,17	163,01	118,05	189,64	6,38	14,66	8,19	9,75	4,36
	15/8/16	-281,25	-107,23	-44,96	-144,48	122,47	18,05	41,49	20,43	26,66	12,90
	22/8/16	-357,46	315,21	64,21	7,32	339,92	3,45	15,51	23,96	14,31	10,31
	1/9/16	97,51	96,80	-97,74	32,19	112,52	6,16	8,54	4,88	6,53	1,86
	8/9/16	184,98	-162,45	-292,99	-90,15	247,05	39,28	23,39	12,69	25,12	13,38
	12/9/16	-468,11	13,38	-836,72	-430,48	426,30	13,08	27,00	10,80	16,96	8,77
	19/9/16	665,47	-267,90	171,44	189,67	466,95	4,68	43,76	16,13	21,52	20,09
	26/9/16	398,90	-21,08	158,58	178,80	210,72	0,40	0,88	2,02	1,10	0,83
	3/10/16	123,37	-209,84	-122,51	-69,66	172,78	-0,28	-0,48	-0,17	-0,31	0,16
	10/10/16	1.895,64	250,70	583,13	909,83	869,77	1,53	-0,32	-0,09	0,37	1,01
	17/10/16	305,56	-405,47	144,09	14,73	372,75	0,02	-0,63	0,22	-0,13	0,44
	24/10/16	538,23	152,48	205,36	298,69	209,12	1,34	0,46	0,48	0,76	0,50
31/10/16	222,65	128,44	1.208,69	519,93	598,34	0,48	-0,06	1,55	0,65	0,82	
7/11/16	52,22	102,88	57,43	70,84	27,87	1,95	1,28	0,59	1,28	0,68	
14/11/16	2.396,32	1.115,49	1.742,71	1.751,51	640,46	-0,12	-0,52	-0,38	-0,34	0,20	

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Rep I	Rep II
Entressafra 2016											
Á. N.	16/5/16	-428,31	-142,54	-77,20	-216,01	186,73	2,67	-4,64	1,17	-0,27	3,86
	1/6/16	86,55	-57,27	-3,60	8,56	72,68	0,76	2,16	-0,37	0,85	1,27
	13/6/16	-178,15	-28,88	-69,71	-92,25	77,14	-0,06	1,08	-0,73	0,10	0,92
	28/6/16	57,81	17,26	-29,21	15,29	43,54	0,19	0,52	0,64	0,45	0,23
	11/7/16	-49,16	-5,11	379,57	108,43	235,84	1,77	0,30	0,72	0,93	0,76
	25/7/16	-38,18	298,23	155,15	138,40	168,83	1,79	-0,56	3,67	1,63	2,12
	11/8/16	-41,85	-209,86	52,18	-66,51	132,75	5,47	0,90	0,52	2,30	2,75
	22/8/16	63,41	271,71	506,97	280,70	221,92	0,51	0,92	1,18	0,87	0,34
	8/9/16	37,67	219,81	137,60	131,69	91,21	6,16	2,41	3,57	4,05	1,92
	19/9/16	-573,42	-73,49	241,89	-135,01	411,12	13,13	4,78	2,99	6,97	5,41
	3/10/16	-73,89	-54,83	112,46	-5,42	102,53	-0,01	0,18	0,85	0,34	0,45
	24/10/16	5,30	29,22	-202,81	-56,10	127,62	1,33	1,18	0,99	1,16	0,17
7/11/16	-232,60	0,86	-376,85	-202,86	190,60	0,59	0,83	0,73	0,72	0,12	
Safra 2016/2017											
P. M.	21/11/16	214,88	497,45	594,19	435,51	197,10	-0,34	0,29	-0,08	-0,04	0,32
	29/11/16	845,96	145,21	594,19	528,45	354,97	0,99	-0,18	-0,43	0,13	0,76
	5/12/16	-10,79	-164,63	280,29	34,96	225,96	-0,10	0,53	1,28	0,57	0,69
	12/12/16	402,95	432,68	201,24	345,62	125,92	-0,32	0,00	0,26	-0,02	0,29
	19/12/16	26,43	-114,97	-237,39	-108,64	132,02	0,28	0,70	0,30	0,43	0,24
	26/12/16	1.778,94	3.945,61	2.370,43	2.698,33	1.119,94	0,25	0,04	-0,12	0,06	0,18
	2/1/17	-423,34	3.385,50	-177,39	928,26	2.131,59	0,06	-0,27	6,74	2,18	3,96
	9/1/17	-1.200,42	-160,90	1.507,39	48,69	1.366,02	0,30	0,73	-0,13	0,30	0,43
	16/1/17	-216,51	-145,05	392,82	10,42	333,09	-0,77	-0,23	-0,10	-0,37	0,36
	23/1/17	765,32	-3.358,41	-2.800,03	-1.797,71	2.237,14	0,49	-3,66	-1,75	-1,64	2,08
	30/1/17	-376,81	-386,93	431,22	-110,84	469,47	0,61	2,44	2,03	1,69	0,96
	6/2/17	361,62	-186,50	-81,84	31,09	290,99	0,31	0,48	0,09	0,29	0,19
	13/2/17	-0,97	-311,83	-311,83	-208,21	179,47	1,28	1,46	0,55	1,09	0,48
	20/2/17	266,08	226,12	454,40	315,53	121,91	0,62	-0,43	0,92	0,37	0,70
	3/3/17	60,20	23,05	177,76	87,00	80,76	1,85	-0,85	-0,15	0,28	1,40
7/3/17	-762,66	904,33	35,55	59,07	833,74	-1,72	-0,18	-0,05	-0,65	0,93	

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)					CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP	Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Safra 2016/2017											
P. M.	13/3/17	-63,87	599,90	188,38	241,47	335,06	-1,69	0,49	0,27	-0,31	1,20
	27/3/17	571,37	115,00	292,35	326,24	230,06	-0,01	0,47	-0,13	0,11	0,32
	12/4/17	216,62	243,70	-232,90	75,81	267,69	-0,21	-0,06	-0,40	-0,22	0,17
	26/4/17	544,06	1.017,46	-718,85	280,89	897,58	1,57	1,30	1,01	1,29	0,28
M/S	21/11/16	-3,43	-450,29	141,58	-104,05	308,50	0,04	-0,41	0,41	0,01	0,41
	29/11/16	-90,43	329,26	2.061,69	766,84	1.140,84	0,28	0,77	1,26	0,77	0,49
	5/12/16	797,87	1.564,96	1.338,64	1.233,82	394,14	0,06	0,17	-0,33	-0,03	0,27
	12/12/16	-85,56	-27,70	36,46	-25,60	61,03	0,14	9,92	8,23	6,09	5,23
	19/12/16	30,34	83,34	8,70	40,79	38,41	2,00	1,15	2,00	1,72	0,49
	26/12/16	7.194,94	12.452,07	7.519,64	9.055,55	2.945,95	0,09	-0,08	-0,21	-0,07	0,15
	2/1/17	1.579,98	2.617,71	1.528,10	1.908,60	614,66	3,65	1,99	1,04	2,23	1,32
	9/1/17	271,74	-634,94	175,14	-62,69	497,94	0,04	-0,45	-0,02	-0,14	0,27
	16/1/17	24,78	373,36	592,12	330,08	286,13	1,01	0,47	0,66	0,71	0,27
	23/1/17	8.487,34	784,11	5.837,12	5.036,19	3.913,58	3,29	2,40	5,36	3,68	1,52
	30/1/17	-205,85	-273,94	92,99	-128,93	195,18	0,94	0,65	1,18	0,92	0,27
	6/2/17	-193,84	-147,94	81,16	-86,87	147,32	-0,82	0,53	0,41	0,04	0,75
	13/2/17	183,14	510,65	293,27	329,02	166,66	1,97	1,91	2,45	2,11	0,29
	20/2/17	346,84	-289,33	-366,63	-103,04	391,52	0,32	-4,16	10,60	2,26	7,57
	3/3/17	349,46	-912,91	-116,05	-226,50	638,39	1,63	-2,29	2,21	0,51	2,45
	7/3/17	1.158,13	131,61	403,69	564,48	531,81	2,53	0,05	0,73	1,11	1,28
	13/3/17	352,70	67,32	192,00	204,01	143,07	2,54	0,65	1,23	1,47	0,97
27/3/17	-15,99	712,81	-80,33	205,49	440,52	6,64	0,44	1,43	2,83	3,33	
12/4/17	172,81	-53,66	32,33	50,50	114,33	0,34	0,47	-0,11	0,23	0,31	
26/4/17	389,29	-186,92	184,31	128,89	292,08	-2,30	0,45	0,41	-0,48	1,57	
A/P	21/11/16	2.257,62	2.671,35	3.036,57	2.655,18	389,73	0,28	0,10	-0,31	0,02	0,30
	29/11/16	15.261,70	11.079,33	8.343,53	11.561,52	3.484,20	0,94	-0,80	0,06	0,07	0,87
	5/12/16	14.675,39	19.027,81	13.647,05	15.783,41	2.856,39	-0,09	-0,12	0,00	-0,07	0,06
	12/12/16	2.903,74	2.545,55	2.647,74	2.699,01	184,52	7,65	11,61	4,75	8,00	3,45
	19/12/16	1.891,46	1.030,75	1.693,61	1.538,61	450,81	0,41	0,12	0,15	0,23	0,16
	20/12/16	-74,72	826,03	1.173,99	641,77	644,43	-1,67	-0,05	0,06	-0,55	0,97
	21/12/16	1.880,64	1.919,30	1.403,94	1.734,63	287,03	1,37	0,94	-0,40	0,64	0,93
	23/12/16	6.382,00	2.660,39	2.502,38	3.848,26	2.195,71	-0,06	-0,22	0,54	0,08	0,40
	26/12/16	-27,69	1.437,58	1.257,58	889,16	799,10	2,69	0,54	0,03	1,09	1,41
	2/1/17	-153,82	232,78	339,16	139,37	259,43	137,13	193,68	141,65	157,48	31,43

T	Data	N ₂ O (mg N ₂ O ha ⁻¹ h ⁻¹)				DP	CH ₄ (g CH ₄ ha ⁻¹ h ⁻¹)				
		Rep I	Rep II	Rep III	Média		Rep I	Rep II	Rep III	Média	DP
Safra 2016/2017											
A/P	9/1/17	-108,87	132,67	464,61	162,80	287,92	274,55	382,93	124,63	260,70	129,70
	18/1/17	-775,87	-20,51	633,67	-54,23	705,37	547,64	458,82	291,41	432,62	130,10
	23/1/17	130,46	1.535,16	-3.642,14	-658,84	2.677,37	2.804,72	1.856,47	1.482,92	2.048,04	681,40
	24/1/17	2.732,01	-2.182,23	-1.675,47	-375,23	2.702,85	2.324,00	1.885,81	1.126,14	1.778,65	606,08
	25/1/17	689,11	-395,18	-1.606,62	-437,56	1.148,45	1.528,84	1.225,22	387,67	1.047,25	591,04
	27/1/17	980,28	196,49	207,63	461,46	449,34	211,08	181,54	122,19	171,60	45,27
	30/1/17	-41,73	-241,94	644,58	120,30	464,94	426,78	360,84	214,87	334,16	108,44
	6/2/17	-56,70	459,91	261,83	221,68	260,64	335,62	340,00	224,90	300,17	65,23
	13/2/17	226,61	448,25	123,50	266,12	165,94	95,36	357,97	236,58	229,97	131,43
	20/2/17	750,19	364,69	-10,06	368,27	380,14	414,25	473,54	256,53	381,44	112,16
	3/3/17	226,61	516,75	1.054,93	599,43	420,30	-42,57	468,58	187,41	204,47	256,00
	7/3/17	560,20	-13,39	-1.375,26	-276,15	994,12	184,31	228,66	163,07	192,01	33,46
	13/3/17	229,42	610,93	493,04	444,46	195,34	129,46	134,92	113,15	125,84	11,33
	27/3/17	-90,36	-8,73	-48,07	-49,06	40,83	161,74	168,45	154,74	161,64	6,85
	7/4/17	97,23	50,35	157,54	101,71	53,74	140,48	127,86	142,08	136,81	7,79
12/4/17	6,58	-25,55	114,96	32,00	73,62	213,99	176,27	181,86	190,71	20,36	
26/4/17	-271,64	452,13	-368,07	-62,53	448,31	66,14	-27,15	-0,09	12,97	48,00	
Á. N.	21/11/16	-71,05	-71,18	-168,36	-103,53	56,14	0,22	0,39	0,15	0,25	0,12
	5/12/16	11.830,01	13.294,03	7.398,13	10.840,72	3.069,93	0,55	0,24	-0,96	-0,06	0,80
	19/12/16	136,28	-146,81	-349,86	-120,13	244,16	1,04	0,70	0,31	0,68	0,37
	2/1/17	458,37	352,12	-98,38	237,37	295,58	0,90	0,73	1,10	0,91	0,19
	18/1/17	131,29	205,96	-305,12	10,71	276,05	1,17	0,89	0,70	0,92	0,24
	30/1/17	283,60	223,26	669,56	392,14	242,14	-0,64	1,68	1,48	0,84	1,29
	13/2/17	518,82	97,63	-283,09	111,12	401,12	-0,18	0,42	-0,67	-0,14	0,55
	3/3/17	218,11	-88,05	-197,12	-22,35	215,27	-2,67	0,18	1,79	-0,23	2,26
	13/3/17	-100,63	-82,36	650,16	155,72	428,29	0,80	-2,05	-1,13	-0,79	1,46
	27/3/17	81,29	-148,96	-217,01	-94,89	156,33	-0,06	-0,46	0,33	-0,07	0,40
12/4/17	-122,18	-146,55	245,52	-7,73	219,66	0,10	-0,54	-0,01	-0,15	0,35	
26/4/17	-131,16	15,05	263,36	49,08	199,45	0,78	0,93	0,29	0,67	0,33	

Apêndice H. Precipitação pluviométrica e temperatura média diária, ocorrida nas áreas experimentais.

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
30/7/2015	0,0	18,5	31/8/2015	0,0	22,5	2/10/2015	8,5	18,7
31/7/2015	0,0	20,2	1/9/2015	12,0	12,8	3/10/2015	0,0	11,7
1/8/2015	0,0	15,9	2/9/2015	1,7	14,3	4/10/2015	0,0	12,9
2/8/2015	0,0	19,3	3/9/2015	3,5	14,8	5/10/2015	0,0	14,6
3/8/2015	33,5	15,7	4/9/2015	17,3	13,5	6/10/2015	0,0	19,5
4/8/2015	1,6	14,4	5/9/2015	0,3	13,6	7/10/2015	9,9	19,6
5/8/2015	17,0	17,0	6/9/2015	2,2	13,4	8/10/2015	16,7	17,5
6/8/2015	0,0	20,6	7/9/2015	0,0	15,6	9/10/2015	18,2	14,0
7/8/2015	0,0	24,1	8/9/2015	0,0	15,1	10/10/2015	13,2	14,5
8/8/2015	0,0	22,7	9/9/2015	0,0	15,4	11/10/2015	21,8	14,1
9/8/2015	0,0	22,1	10/9/2015	2,6	13,0	12/10/2015	11,2	14,1
10/8/2015	0,0	21,5	11/9/2015	0,0	8,6	13/10/2015	0,0	14,8
11/8/2015	6,3	17,5	12/9/2015	0,0	9,9	14/10/2015	15,5	18,3
12/8/2015	0,5	18,7	13/9/2015	0,0	12,9	15/10/2015	33,8	20,8
13/8/2015	0,2	19,7	14/9/2015	0,0	16,5	16/10/2015	0,0	14,8
14/8/2015	0,9	18,2	15/9/2015	0,0	18,1	17/10/2015	0,0	12,4
15/8/2015	0,0	15,2	16/9/2015	30,6	14,3	18/10/2015	0,0	12,7
16/8/2015	0,0	15,2	17/9/2015	0,2	14,0	19/10/2015	16,6	16,7
17/8/2015	17,4	18,8	18/9/2015	0,0	16,0	20/10/2015	17,0	19,6
18/8/2015	0,0	17,4	19/9/2015	1,2	15,7	21/10/2015	0,0	17,0
19/8/2015	12,2	14,4	20/9/2015	3,4	16,2	22/10/2015	0,0	18,1
20/8/2015	0,4	14,7	21/9/2015	25,1	17,3	23/10/2015	0,0	16,2
21/8/2015	0,0	16,7	22/9/2015	17,1	19,1	24/10/2015	0,0	14,7
22/8/2015	0,0	18,0	23/9/2015	82,3	19,1	25/10/2015	0,0	17,6
23/8/2015	0,0	13,5	24/9/2015	51,4	18,7	26/10/2015	0,0	19,1
24/8/2015	0,0	11,9	25/9/2015	0,7	16,9	27/10/2015	1,0	19,1
25/8/2015	0,0	15,6	26/9/2015	0,0	17,9	28/10/2015	9,4	19,4
26/8/2015	0,0	17,8	27/9/2015	1,0	16,3	29/10/2015	0,1	21,4
27/8/2015	15,7	16,0	28/9/2015	0,0	16,3	30/10/2015	5,0	21,1
28/8/2015	0,0	14,4	29/9/2015	0,0	16,5	31/10/2015	1,2	17,0
29/8/2015	0,0	19,5	30/9/2015	0,0	13,2	1/11/2015	0,0	16,8
30/8/2015	0,0	20,1	1/10/2015	0,0	16,3	2/11/2015	0,4	16,9

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
3/11/2015	1,8	18,3	8/12/2015	0,0	21,0	12/1/2016	0,0	25,5
4/11/2015	0,1	17,8	9/12/2015	9,8	23,1	13/1/2016	0,0	23,2
5/11/2015	5,2	15,6	10/12/2015	0,1	21,8	14/1/2016	0,0	22,8
6/11/2015	0,0	16,4	11/12/2015	0,0	24,5	15/1/2016	0,0	23,2
7/11/2015	0,0	17,1	12/12/2015	0,0	25,6	16/1/2016	0,0	23,7
8/11/2015	0,0	19,9	13/12/2015	9,0	24,7	17/1/2016	0,0	24,9
9/11/2015	0,0	23,0	14/12/2015	2,4	24,0	18/1/2016	0,0	25,9
10/11/2015	24,7	21,2	15/12/2015	0,0	22,4	19/1/2016	0,0	24,4
11/11/2015	0,0	20,1	16/12/2015	0,0	21,1	20/1/2016	0,0	24,2
12/11/2015	0,0	20,1	17/12/2015	14,6	23,4	21/1/2016	0,0	24,1
13/11/2015	51,6	22,4	18/12/2015	39,4	22,4	22/1/2016	0,0	24,5
14/11/2015	0,0	18,2	19/12/2015	0,4	20,1	23/1/2016	8,6	25,4
15/11/2015	0,0	18,4	20/12/2015	0,0	20,3	24/1/2016	0,0	26,0
16/11/2015	0,0	20,1	21/12/2015	7,9	23,5	25/1/2016	1,8	26,8
17/11/2015	3,3	20,7	22/12/2015	5,8	21,9	26/1/2016	0,0	21,3
18/11/2015	0,2	22,0	23/12/2015	2,1	23,4	27/1/2016	0,0	21,0
19/11/2015	18,9	19,9	24/12/2015	0,0	22,4	28/1/2016	0,0	22,9
20/11/2015	9,8	16,4	25/12/2015	0,0	22,2	29/1/2016	12,6	24,5
21/11/2015	0,0	16,1	26/12/2015	0,0	22,1	30/1/2016	0,2	24,3
22/11/2015	0,0	19,4	27/12/2015	0,0	24,1	31/1/2016	2,0	23,9
23/11/2015	0,0	17,7	28/12/2015	0,0	24,3	1/2/2016	0,0	21,2
24/11/2015	0,0	19,3	29/12/2015	0,0	25,9	2/2/2016	0,0	22,3
25/11/2015	0,0	20,1	30/12/2015	13,8	27,4	3/2/2016	1,6	23,9
26/11/2015	0,0	20,0	31/12/2015	1,6	23,2	4/2/2016	7,2	22,9
27/11/2015	42,2	22,4	1/1/2016	0,0	23,0	5/2/2016	0,0	23,0
28/11/2015	0,5	19,7	2/1/2016	0,0	23,4	6/2/2016	0,0	23,4
29/11/2015	0,0	18,8	3/1/2016	0,5	23,5	7/2/2016	0,0	24,8
30/11/2015	0,0	19,0	4/1/2016	0,0	25,3	8/2/2016	5,2	27,1
1/12/2015	0,0	19,8	5/1/2016	39,8	23,1	9/2/2016	2,8	26,7
2/12/2015	0,0	21,0	6/1/2016	2,4	24,9	10/2/2016	0,0	25,6
3/12/2015	1,0	20,8	7/1/2016	0,9	22,3	11/2/2016	0,0	25,3
4/12/2015	48,8	24,1	8/1/2016	0,0	21,8	12/2/2016	0,0	26,0
5/12/2015	0,1	19,8	9/1/2016	0,0	22,5	13/2/2016	40,4	24,9
6/12/2015	0,0	17,5	10/1/2016	0,0	24,3	14/2/2016	0,0	24,0
7/12/2015	0,0	17,7	11/1/2016	0,0	24,0	15/2/2016	0,0	23,9

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
16/2/2016	0,0	25,8	22/3/2016	4,1	20,2	27/4/2016	0,0	10,3
17/2/2016	6,2	26,7	23/3/2016	0,1	19,7	28/4/2016	0,0	10,3
18/2/2016	0,0	24,6	24/3/2016	0,0	20,1	29/4/2016	0,0	10,8
19/2/2016	0,0	24,3	25/3/2016	0,4	20,0	30/4/2016	0,0	10,3
20/2/2016	0,0	24,8	26/3/2016	72,6	20,2	1/5/2016	0,0	10,6
21/2/2016	0,0	24,6	27/3/2016	20,5	20,3	2/5/2016	0,0	12,1
22/2/2016	0,0	25,9	28/3/2016	0,9	21,9	3/5/2016	2,1	12,1
23/2/2016	0,0	25,8	29/3/2016	0,0	21,4	4/5/2016	0,0	12,1
24/2/2016	0,0	26,4	30/3/2016	0,0	20,4	5/5/2016	0,0	12,9
25/2/2016	0,3	26,9	31/3/2016	0,0	20,4	6/5/2016	0,0	15
26/2/2016	24,8	24,5	1/4/2016	0,0	21,6	7/5/2016	0,0	16,6
27/2/2016	2,5	22,1	2/4/2016	30,2	22,3	8/5/2016	1,2	16,7
28/2/2016	0,0	21,5	3/4/2016	0,0	21,6	9/5/2016	13,2	17,7
29/2/2016	0,0	22,6	4/4/2016	4,6	21,4	10/5/2016	0,5	18,1
1/3/2016	0,0	22,8	5/4/2016	0,6	24,0	11/5/2016	0,0	13,4
2/3/2016	4,7	22,0	6/4/2016	15,7	21,9	12/5/2016	0,0	12
3/3/2016	9,0	21,1	7/4/2016	0,1	20,6	13/5/2016	0,0	14,1
4/3/2016	0,5	21,5	8/4/2016	6,1	18,8	14/5/2016	0,0	16,9
5/3/2016	0,1	20,9	9/4/2016	0,0	21,2	15/5/2016	50,8	15,8
6/3/2016	0,0	20,0	10/4/2016	3,8	20,6	16/5/2016	0,0	12,7
7/3/2016	0,0	19,3	11/4/2016	38,4	20,8	17/5/2016	0,0	10,7
8/3/2016	0,0	21,1	12/4/2016	5,2	20,7	18/5/2016	0,0	10,6
9/3/2016	0,9	22,1	13/4/2016	1,0	22,8	19/5/2016	0,0	10
10/3/2016	6,7	21,1	14/4/2016	0,0	22,0	20/5/2016	0,0	11,5
11/3/2016	17,2	19,5	15/4/2016	0,0	25,5	21/5/2016	1,0	14,2
12/3/2016	0,0	18,6	16/4/2016	0,0	28,5	22/5/2016	0,0	11,9
13/3/2016	0,0	18,6	17/4/2016	0,0	25,7	23/5/2016	0,0	10
14/3/2016	2,0	21,6	18/4/2016	10,0	22,5	24/5/2016	0,0	10,9
15/3/2016	0,0	23,2	19/4/2016	16,1	24,4	25/5/2016	0,0	14,5
16/3/2016	0,0	23,4	21/4/2016	0,0	20,5	26/5/2016	0,0	12,5
17/3/2016	0,0	24,2	22/4/2016	12,6	17,9	27/5/2016	0,4	15
18/3/2016	9,6	25,8	23/4/2016	0,4	18,9	28/5/2016	5,0	17,2
19/3/2016	5,2	19,9	24/4/2016	7,6	23,8	29/5/2016	5,5	17,5
20/3/2016	19,8	18,1	25/4/2016	66,2	20,7	30/5/2016	0,7	17,2
21/3/2016	15,9	20,0	26/4/2016	28,2	17,9	31/5/2016	0,0	14,8

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
1/6/2016	0,0	13,1	6/7/2016	9,6	12,3	10/8/2016	0,4	10,8
2/6/2016	2,5	11,7	7/7/2016	0,0	12,4	11/8/2016	0,0	12,4
3/6/2016	0,0	11,2	8/7/2016	0,0	11,9	12/8/2016	0,0	12,9
4/6/2016	0,0	9,9	9/7/2016	3,8	11,9	13/8/2016	0,0	14,8
5/6/2016	0,0	9,7	10/7/2016	0,4	12	14/8/2016	0,0	15,4
6/6/2016	0,0	9,2	11/7/2016	15,4	13	15/8/2016	0,0	16,8
7/6/2016	0,0	11,9	12/7/2016	0,3	12	16/8/2016	0,0	14,7
8/6/2016	0,0	9	13/7/2016	0,0	10	17/8/2016	8,7	14,5
9/6/2016	0,0	8,1	14/7/2016	0,0	13,7	18/8/2016	0,0	12,8
10/6/2016	4,3	7,8	15/7/2016	0,4	13,9	19/8/2016	0,5	13,4
11/6/2016	0,0	8,3	16/7/2016	0,0	9,9	20/8/2016	2,9	13,2
12/6/2016	0,0	7,9	17/7/2016	0,0	7,7	21/8/2016	0,6	8,8
13/6/2016	0,0	7,6	18/7/2016	0,0	7,8	22/8/2016	0,0	10,9
14/6/2016	0,0	10,4	19/7/2016	0,0	7,7	23/8/2016	0,0	13,6
15/6/2016	0,0	10,4	20/7/2016	0,0	7,9	24/8/2016	0,0	13,3
16/6/2016	0,0	10,1	21/7/2016	0,0	8,4	25/8/2016	0,0	14,2
17/6/2016	0,0	8,4	22/7/2016	0,0	6,7	26/8/2016	0,0	17,7
18/6/2016	0,0	9,7	23/7/2016	0,0	11,7	27/8/2016	0,0	21,6
19/6/2016	0,0	7,4	24/7/2016	0,0	11,5	28/8/2016	12,4	16,3
20/6/2016	0,0	7,4	25/7/2016	0,4	12,7	29/8/2016	22,4	15,7
21/6/2016	0,0	10,3	26/7/2016	22,6	14	30/8/2016	32,8	16,2
22/6/2016	0,0	11,6	27/7/2016	0,0	10,3	31/8/2016	25,3	13,8
23/6/2016	0,7	13,3	28/7/2016	0,0	8,6	1/9/2016	0,3	12,9
24/6/2016	0,3	12	29/7/2016	0,0	11,5	2/9/2016	0,0	12,6
25/6/2016	0,2	13,3	30/7/2016	0,0	14,3	3/9/2016	15,4	11,9
26/6/2016	9,0	13	31/7/2016	0,0	19,6	4/9/2016	6,1	14,0
27/6/2016	0,2	14,7	1/8/2016	0,0	14,3	5/9/2016	10,8	16,2
28/6/2016	0,0	13,7	2/8/2016	0,0	10,6	6/9/2016	14,3	12,3
29/6/2016	0,0	13,4	3/8/2016	0,0	12,7	7/9/2016	2,1	13,9
30/6/2016	0,0	13,1	4/8/2016	13,3	16,2	8/9/2016	0,0	14,4
1/7/2016	0,0	13,5	5/8/2016	0,0	18,9	9/9/2016	0,0	14,6
2/7/2016	0,0	16,3	6/8/2016	19,4	12,1	10/9/2016	0,2	16,4
3/7/2016	0,0	18,9	7/8/2016	0,0	10,6	11/9/2016	0,0	13,7
4/7/2016	0,0	22,1	8/8/2016	0,0	9,7	12/9/2016	2,5	17,7
5/7/2016	32,2	16,7	9/8/2016	6,7	12,5	13/9/2016	29,1	16,2

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação	Temperatura (°C)
14/9/2016	0,0	13,5	19/10/2016	22,9	19,5	23/11/2016	0,0	18,0
15/9/2016	0,0	11,1	20/10/2016	0,6	16,9	24/11/2016	0,0	18,6
16/9/2016	0,0	12,7	21/10/2016	0,1	14,9	25/11/2016	0,0	20,2
17/9/2016	0,0	15,3	22/10/2016	0,0	16,4	26/11/2016	0,0	23,6
18/9/2016	0,0	15,4	23/10/2016	0,0	20,4	27/11/2016	18,7	22,1
19/9/2016	0,0	13,0	24/10/2016	0,5	19,5	28/11/2016	0,0	20,5
20/9/2016	0,0	15,0	25/10/2016	0,9	18,9	29/11/2016	0,0	18,6
21/9/2016	0,0	16,3	26/10/2016	9,4	20,6	30/11/2016	0,0	18,7
22/9/2016	0,0	18,2	27/10/2016	3,0	14,1	1/12/2016	0,0	21,2
23/9/2016	0,0	12,9	28/10/2016	0,0	13,6	2/12/2016	0,0	23,8
24/9/2016	0,0	11,2	29/10/2016	0,0	15,0	3/12/2016	12,0	19,8
25/9/2016	0,0	12,8	30/10/2016	0,0	18,3	4/12/2016	0,4	21,1
26/9/2016	0,0	11,7	31/10/2016	0,0	21,9	5/12/2016	0,0	21,3
27/9/2016	0,0	14,3	1/11/2016	52,9	20,3	6/12/2016	0,0	23,7
28/9/2016	0,0	15,0	2/11/2016	5,7	15,0	7/12/2016	0,0	22,0
29/9/2016	0,0	13,7	3/11/2016	0,0	16,7	8/12/2016	0,0	20,2
30/9/2016	0,0	13,3	4/11/2016	0,0	21,2	9/12/2016	0,0	18,1
1/10/2016	0,0	16,1	5/11/2016	0,0	21,6	10/12/2016	0,0	23,8
2/10/2016	0,0	16,9	6/11/2016	0,0	22,1	11/12/2016	8,0	21,7
3/10/2016	0,0	17,3	7/11/2016	0,0	23,6	12/12/2016	0,0	22,9
4/10/2016	4,3	15,8	8/11/2016	0,0	21,9	13/12/2016	0,0	21,5
5/10/2016	0,0	17,2	9/11/2016	0,3	21,9	14/12/2016	0,0	17,0
6/10/2016	0,0	15,9	10/11/2016	0,0	21,9	15/12/2016	0,0	17,8
7/10/2016	0,0	16,5	11/11/2016	0,0	16,1	16/12/2016	0,0	21,7
8/10/2016	0,2	14,8	12/11/2016	0,0	17,5	17/12/2016	0,0	24,1
9/10/2016	0,0	13,2	13/11/2016	0,0	19,9	18/12/2016	0,0	27,1
10/10/2016	0,0	15,0	14/11/2016	0,0	22,8	19/12/2016	5,6	24,6
11/10/2016	0,0	17,8	15/11/2016	0,0	23,8	20/12/2016	0,0	23,1
12/10/2016	0,0	20,4	16/11/2016	0,0	22,0	21/12/2016	0,0	23,0
13/10/2016	0,2	19,3	17/11/2016	32,9	15,0	22/12/2016	0,0	26,7
14/10/2016	0,0	19,2	18/11/2016	1,4	15,7	23/12/2016	11,6	26,3
15/10/2016	1,8	20,2	19/11/2016	0,0	17,4	24/12/2016	0,0	23,1
16/10/2016	27,5	21,3	20/11/2016	0,0	18,4	25/12/2016	48,5	23,2
17/10/2016	9,8	18,6	21/11/2016	0,0	16,4	26/12/2016	5,0	26,1
18/10/2016	3,2	15,9	22/11/2016	0,0	15,4	27/12/2016	4,1	21,6

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
28/12/2016	0,3	23,4	1/2/2017	0,0	26,3	8/3/2017	0,0	25,0
29/12/2016	3,1	22,4	2/2/2017	5,9	25,2	9/3/2017	24,0	23,3
30/12/2016	0,4	24,4	3/2/2017	0,0	26,0	10/3/2017	0,5	21,3
31/12/2016	0,0	26,7	4/2/2017	0,0	26,9	11/3/2017	0,0	20,6
1/1/2017	0,0	28,2	5/2/2017	16,6	26,3	12/3/2017	40,4	19,1
2/1/2017	0,0	24,8	6/2/2017	0,0	20,3	13/3/2017	0,0	18,2
3/1/2017	12,3	24,3	7/2/2017	0,0	19,4	14/3/2017	0,0	18,9
4/1/2017	31,7	22,2	8/2/2017	0,0	20,2	15/3/2017	0,0	23,4
5/1/2017	0,0	24,5	9/2/2017	0,0	24,3	16/3/2017	8,5	19,7
6/1/2017	0,0	21,3	10/2/2017	0,0	25,8	17/3/2017	0,0	15,8
7/1/2017	0,0	24,0	11/2/2017	0,0	24,7	18/3/2017	0,0	17,1
8/1/2017	9,0	25,9	12/2/2017	0,6	25,1	19/3/2017	0,4	19,2
9/1/2017	3,4	27,0	13/2/2017	12,1	25,2	20/3/2017	0,0	19,0
10/1/2017	16,3	24,0	14/2/2017	0,0	25,4	21/3/2017	0,0	20,4
11/1/2017	0,0	22,4	15/2/2017	0,0	26,8	22/3/2017	0,0	22,6
12/1/2017	0,0	22,9	16/2/2017	3,7	26,0	23/3/2017	0,0	22,7
13/1/2017	0,0	26,6	17/2/2017	9,8	24,8	24/3/2017	0,0	21,4
14/1/2017	3,4	22,7	18/2/2017	4,2	26,1	25/3/2017	0,0	21,7
15/1/2017	0,0	24,3	19/2/2017	0,3	25,4	26/3/2017	0,0	22,9
16/1/2017	39,4	23,8	20/2/2017	0,0	27,2	27/3/2017	0,0	22,5
17/1/2017	8,1	24,2	21/2/2017	4,2	25,3	28/3/2017	0,0	21,7
18/1/2017	0,0	22,9	22/2/2017	10,0	25,7	29/3/2017	0,2	22,0
19/1/2017	0,0	22,0	23/2/2017	55,3	24,8	30/3/2017	0,0	21,0
20/1/2017	0,0	22,6	24/2/2017	0,1	24,6	31/3/2017	0,0	21,0
21/1/2017	0,0	22,7	25/2/2017	0,0	25,1	1/4/2017	0,0	21,4
22/1/2017	0,0	23,6	26/2/2017	0,0	24,5	2/4/2017	0,0	21,1
23/1/2017	0,0	24,9	27/2/2017	0,0	25,0	3/4/2017	0,0	23,4
24/1/2017	2,2	24,6	28/2/2017	0,0	25,8	4/4/2017	0,0	23,8
25/1/2017	2,4	21,9	1/3/2017	0,0	27,1	5/4/2017	0,0	22,4
26/1/2017	2,0	20,8	2/3/2017	0,0	27,4	6/4/2017	0,0	17,6
27/1/2017	0,0	19,8	3/3/2017	4,5	26,0	7/4/2017	0,0	19,8
28/1/2017	0,0	21,0	4/3/2017	24,4	23,1	8/4/2017	0,0	23,5
29/1/2017	0,0	24,6	5/3/2017	0,7	22,3	9/4/2017	0,5	23,0
30/1/2017	0,0	27,2	6/3/2017	0,0	22,0	10/4/2017	40,7	21,9
31/1/2017	0,0	27,4	7/3/2017	0,0	22,6	11/4/2017	0,0	19,5

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
12/4/2017	0,0	16,7
13/4/2017	0,0	18,1
14/4/2017	0,0	18,6
15/4/2017	14,9	19,0
16/4/2017	4,5	18,8
17/4/2017	0,0	17,6
18/4/2017	0,5	18,9
19/4/2017	0,0	20,9
20/4/2017	3,4	19,6
21/4/2017	0,6	17,9
22/4/2017	0,0	15,8
23/4/2017	0,0	14,5
24/4/2017	0,0	17,0
25/4/2017	0,0	20,4
26/4/2017	1,0	15,5