



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GISLAINE SILVA PEREIRA

**EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA EM LONDRINA-PR**

Londrina
2019

GISLAINE SILVA PEREIRA

**EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA EM LONDRINA-PR**

Dissertação de mestrado apresentada ao
Departamento de Agronomia da Universidade
Estadual de Londrina, como requisito à
obtenção do título de Mestre em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho
Co-orientador: Julio Cezar Franchini

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

PEREIRA, GISLAINE SILVA.

EMISSIONES DE ÓXIDO NITROSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA EM LONDRINA-PR / GISLAINE SILVA PEREIRA. - Londrina, 2019.
44 f. : il.

Orientador: João Tavares Filho.

Coorientador: Julio Cezar Franchini.

(dissertação) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Gases de efeito estufa - . 2. mudança do clima - . 3. uso do solo - . I. Tavares Filho, João . II. Franchini, Julio Cezar. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

GISLAINE SILVA PEREIRA

**EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO
LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA
EM LONDRINA-PR**

Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Agronomia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Tavares Filho
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dra. Adriana Pereira da Silva
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Henrique Debiasi
Empresa Brasileira de Pesquisa - EMBRAPA-
Soja

Londrina, 18 de fevereiro de 2019.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelas bênçãos concedidas durante esta caminhada.

Ao professor João Tavares Filho pela orientação, paciência e todos os conselhos que contribuíram com a realização deste trabalho.

Ao Dr. Julio Cezar Franchini (EMBRAPA-Soja), pela orientação, compreensão, paciência e toda ajuda para meu crescimento profissional.

À Fundação Arthur Bernardes e a Capes por disponibilização de bolsa para realização do mestrado.

À Universidade Estadual de Londrina e a Embrapa Soja, em especial a Prof. Dr. Maria de Fátima Guimarães, Prof. Dr. Inês Cristina de Batista Fonseca e Dr. Henrique Debiasi pela compreensão e oportunidade concedidas em diferentes momentos.

A todos funcionários da Embrapa Soja, destacando: Sr. Idelfonso, Donizete, Mariluce, Esmael, Fernanda, Mariana e Joviano por toda colaboração, paciência e palavras fortalecedoras em momentos desafiadores.

A todos os amigos que a vida me trouxe durante esta caminhada, dentre eles: Rayane Vendrame, Caroline Honorato, Ana Flávia Fernandes, Patricia Braga, Karla Braga, Ana Carolina Coqueiro, Smaylla El Kadri, Adriana Pereira, Lucas Moraes, Rodrigo Peixoto, Wellington Favarim, Rafael Soriani, Angelo Hilario, Tiago, Lásara Isabella e Daiton Assis que me auxiliaram durante todo o experimento, apoiando minhas decisões e me direcionando nas escolhas corretas.

Aos principais responsáveis pela conclusão desta etapa de vida, meus familiares, Rosângela Silva Assunção, Vilson Gomes Assunção, Gabriel Henrique Borges Silva e Ilza Dourado Cabral por todo o incentivo e força durante o trajeto percorrido.

Ao meu amigo e conselheiro de todos os dias, Felipe D. Fabro

Obrigada!

PEREIRA, G.S. **Emissões de óxido nitroso em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Bioma Mata Atlântica em Londrina-PR.** 2019. 44 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi determinar os fluxos de N_2O e sua relação com variáveis solo-clima, em diferentes agroecossistemas. As avaliações foram realizadas em Unidade de Referência Tecnológica (URT) da Embrapa Soja, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. A URT foi implantada no ano de 2010 em área de 22 hectares, em Londrina, PR. Foram avaliados cinco sistemas agrícolas: Integração Lavoura-Floresta (ILF), Lavoura (L), Integração Pecuária-Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E) em duas estações (Estação A e Estação B). Para obtenção dos fluxos de N_2O realizou-se 92 coletas de setembro/2017 a setembro/2018. Determinou-se a umidade gravimétrica do solo, temperatura interna das câmaras de amostragem do gás e dados de precipitação durante todo período. Foram mensurados os acumulados de N_2O de cada sistema e o espaço de poros preenchidos por água (%EPPA) na camada de 0,0 a 0,1 m de profundidade. Os fluxos de N_2O foram considerados medidas repetidas no tempo. Variáveis solo-clima foram correlacionadas com fluxos de N_2O pelo teste Spearman ($p < 0,05$). Para comparação de médias entre sistemas utilizou-se o teste Tukey a 5%. Não houve diferença significativa dos fluxos de N_2O entre ILF e L, somente da interação tempo e sistemas durante as duas estações avaliadas. As emissões de N_2O em IPF, P e E não diferiram entre si, apenas na interação sistemas e tempo para estação A. Em estação B o sistema E obteve em média maior fluxo de N_2O do que em IPF e P. As correlações dos fluxos de N_2O com as variáveis solo-clima reforçam a relação de sazonalidade entre estações na produção do gás. Não houve diferença significativa entre ILF e L para o acúmulo de N_2O , apenas entre as estações, assim como para os demais sistemas. A influência das variáveis solo-clima e a entrada de fontes de N no solo auxiliam na intensificação das emissões de N_2O nos sistemas de produção agrícola.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa. Mudança do clima. Uso do solo.

PEREIRA, G.S. **Nitrous oxide emissions in Crop-livestock-forest integration system at Mata Atlântica biome in Londrina-PR.** 2019. 44 p. Dissertation (Agronomy Master Degree) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

ABSTRACT

Objective of this study was to evaluate N₂O fluxes (FN₂O), and their relationship with soil-climate variables, in different agroecosystems. Evaluations were carried out at the Technological Reference Unit (URT) of Embrapa Soja, with soil classified as Oxisol with clayey texture. URT was implemented in 2010 in 22 hectares, in Londrina, PR. In the study, five agricultural system were evaluated: Integrated crop-forest system (ILF), crop system (L), integrated livestock-forest system, livestock (P) and eucalyptus production (E) in two seasons (season A and season B). A total of 92 N₂O samples were collected from September/2017 to September/2018 to obtaining N₂O fluxes. Gravimetric soil moisture, internal chamber temperature and rainfall data were determined at period. N₂O cumulative fluxes and water filled pore space (WFPS%) in 0.0-0.1 m depth were measured. N₂O fluxes were considered time repeated measures. Soil-climate variables were correlated with N₂O fluxes by the Spearman test (p <0.05). For comparison of means between systems the Tukey test at 5% was used. There was no significant difference in N₂O fluxes between ILF and L, only the time and systems interaction during the two seasons evaluated. The N₂O emissions in IPF, P and E did not differ, only in the interaction systems and time for season A. In season B, E obtained on average a larger flow of N₂O than IPF and P. The correlations of the flows of N₂O with the soil-climate variables reinforce the seasonality relation between stations in the gas production. There was no significant difference between ILF and L for N₂O cumulative fluxes, only between the seasons, as well as for the other systems. The influence of the soil-climate variables and the input of N sources in the soil helps in the intensification of N₂O emissions in agricultural production systems.

Keywords: Greenhouse gases. Climate change. Land use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Ciclo biogeoquímico do nitrogênio.	14
Figura 3.1	Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Soja – Integração Pecuária-Floresta (1); Pecuária (2); Lavoura (3); Integração Lavoura-Floresta (4) e Eucalipto (5).....	20
Figura 3.2	Sistemas Pecuária (31/07/18), IPF (07/01/2018), Lavoura (30/10/2017), ILF (30/10/2017) e Eucalipto (27/07/2018) utilizados na avaliação das emissões de N ₂ O em Unidade de Referência Tecnológica. Londrina, PR.	21
Figura 3.3	Representação Esquemática da disposição de câmaras estáticas nos sistemas agrícolas para avaliação dos fluxos de N ₂ O. Londrina, PR, 2018.	22
Figura 3.4	Representação esquemática da obtenção dos acumulados dos fluxos de N ₂ O para os sistemas de Integração Lavoura- Floresta, Lavoura, Integração Pecuária-Floresta, Pecuária e Eucalipto.	23
Figura 3.5	Fluxos de N ₂ O (FN ₂ O) em sistema de Integração Lavoura- Floresta (ILF) e Lavoura (L) durante estação A (11/09/2017- 08/03/2018) e estação B (12/03-23/08/2018).	25
Figura 3.6	Fluxos de N ₂ O (FN ₂ O) em sistema de Integração Pecuária- Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E) durante estação A (22/09/2017-29/03/2018) e estação B (02/04-14/09/2018).....	26
Figura 3.7	Emissões acumuladas de N ₂ O (EA-N ₂ O) em sistema de Integração Lavoura-Floresta (ILF) e Lavoura (L) durante estação A (11/09/2017-08/03/2018) e estação B (12/03- 23/08/2018).....	27
Figura 3.8	Emissões acumuladas de N ₂ O (EA-N ₂ O) em sistema de Integração Pecuária-Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E) durante estação A (22/09/2017-29/03/2018) e estação B (02/04-14/09/2018).....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Coeficientes de correlação de Spearman entre variáveis solo-clima e fluxos de N ₂ O dos sistemas de Integração Lavoura-Floresta (ILF), Lavoura (L), Integração Pecuária-Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E).....	28
Tabela 6.1	Histórico dos sistemas de cultivo na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Soja. Safra 2010/11 a 2018. Londrina, PR.....	43
Tabela 6.2	Disposição das câmaras estáticas manuais nos sistemas de ILF e Lavoura. Safra 2017/18 e 2018. Londrina, PR.....	44
Tabela 6.3	Teste de ajuste de modelo para os fluxos de N ₂ O de sistemas (Integração Lavoura-Floresta, Lavoura, Integração Pecuária-Floresta, Pecuária e Eucalipto), tempos de avaliação e para a interação entre sistemas <i>versus</i> tempo.	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	RELAÇÃO ENTRE OS GEE E A AGRICULTURA	10
2.2	SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA	12
2.3	DINÂMICA DOS FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO	13
2.4	EMISSÕES DE N ₂ O E SISTEMAS ILPF	15
3	ARTIGO A - EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA EM LONDRINA-PR	18
3.1	RESUMO	18
3.2	ABSTRACT	18
3.3	INTRODUÇÃO	19
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.4.1	Descrição da Área Experimental	20
3.4.2	Determinação dos Fluxos de N ₂ O	21
3.4.3	Determinação das variáveis solo-clima	23
3.4.4	Análise Estatística	24
3.5	RESULTADOS	25
3.5.1	Fluxos de N ₂ O em ILF e L	25
3.5.2	Fluxos de N ₂ O em IPF, P e E	25
3.5.3	Emissões Acumuladas de N ₂ O	26
3.5.4	Correlação entre Variáveis Solo-Clima e os FN ₂ O	28
3.6	DISCUSSÃO	28
3.6.1	Fluxos de N ₂ O em ILF e L	28
3.6.2	Fluxos de N ₂ O em IPF, P e E	29
3.6.3	Emissões Acumuladas de N ₂ O	30
3.6.4	Correlação entre Variáveis Solo-Clima e FN ₂ O	31
3.7	CONCLUSÃO	32

4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERENCIAS	34
	ANEXO	43

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de garantir insumos, fibras e energia a população mundial, tem levado a intensificação dos sistemas agrícolas de produção através de mudanças no uso do solo (ALVES et al., 2017). Desse modo, cresce a exigência por utilização de práticas de manejo do solo e da água capazes de preservar a qualidade do mesmo e reduzir as emissões de carbono e de gases de efeito estufa (GEE), promovendo a sustentabilidade dos agroecossistemas (BRASIL, 2015).

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2013), o aumento das emissões de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) ocorre em função de atividades antrópicas. A *World Meteorological Organization* (2018) assume que as concentrações de GEE alcançaram novos patamares, com o aumento dos níveis em 145% para CO₂ (403,3 ± 0,1 ppm), 257% de CH₄ (1853 ± 2 ppm) e 122% para N₂O (328.9 ± 0,1 ppm) desde de 1750. Assim, a Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída pelo Brasil, através da lei 12.187/2009, define o compromisso voluntário do país na adoção de ações voltadas à redução das emissões nacionais de GEE (BRASIL, 2009).

O programa Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), conjunto de políticas públicas elaboradas pelo governo brasileiro, visa a redução de excedentes de GEE gerados de diferentes setores da agricultura, através da diminuição das emissões que intensificam o aquecimento global do planeta, além do aumento na produção e o acúmulo de carbono no solo (BRASIL, 2015). Segundo Buller et al. (2015), o Plano ABC é considerado estratégia para redução do desmatamento, além da mitigação dos gases de efeito estufa.

Uma das premissas do plano ABC é a adoção de sistemas integrados (p.e. Integração Lavoura Pecuária - ILP e Integração Lavoura Pecuária Floresta - ILPF) como alternativa no aumento da diversificação de atividades agrícolas, para produção de diferentes fontes de alimentos, possibilitando o sequestro de carbono pelo componente arbóreo e no solo, tornando-os mitigadores de GEE (BRASIL, 2012).

Carvalho et al. (2017), ao avaliarem as emissões de N₂O em sistema ILPF no bioma Cerrado, constataram a necessidade de informações adequadas sobre a utilização dos resíduos das culturas na produção deste gás. Franchini et al. (2014) também reforçaram a importância de obtenção da relação entre emissões de GEE em sistemas integrados, devido à competição dos componentes do sistema por água, luz

e nutrientes.

Poucos são os estudos que avaliam a produção de N_2O nos sistemas integrados no Brasil (CARVALHO et al., 2017), porém a diversificação do sistema devido as diferentes atividades pode ser uma alternativa na redução das emissões do gás. A dinâmica dos fluxos de N_2O é dependente das propriedades do solo, disponibilidade de N mineral, quantidade de oxigênio, umidade e temperatura do solo, além do pH e disponibilidade de C e N lábil (CHAPUIS-LARDY et al., 2007).

Nos países de clima temperado, as emissões de GEE são amplamente estudadas, sendo necessário maior aprofundamento destes estudos em regiões tropicais (RUGGIERI e CARDOSO, 2017). O uso de bases internacionais para mensurar as emissões de GEE nos inventários brasileiros, tem demonstrado uma superestimativa dos valores reais produzidos em território nacional (JANTALIA et al., 2008; BRASIL, 2015).

Deste modo, devido a necessidade de estudos para obtenção das reais condições das emissões de GEE, a hipótese do presente trabalho foi que a mudança de sistemas tradicionais de produção para sistemas integrados reduz as emissões de N_2O , de modo que o manejo de sistemas de integração prioriza os preceitos da sustentabilidade dos agroecossistemas (p.e maior aporte de matéria orgânica de degradação lenta, equilíbrio de microrganismos e disponibilidade de água no solo).

Visando o entendimento da potencialidade dos sistemas ILPF em reduzir as concentrações de N_2O , o objetivo do trabalho foi avaliar as emissões de N_2O em sistemas integrados em relação aos sistemas tradicionais de produção agrícola no bioma Mata Atlântica, na região de Londrina, Norte do Paraná.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RELAÇÃO ENTRE OS GEE E A AGRICULTURA

A mudança climática global é influenciada pelo aumento das concentrações de GEE, resultando na elevação da temperatura média do planeta, afetando os padrões de distribuições de chuvas e o equilíbrio entre as estações do ano (IPCC, 2013). Assim, a busca por estratégias para redução da produção de GEE se torna necessária (OLIVEIRA et al., 2015), uma vez que o aumento da quantidade de gases na atmosfera impulsiona o aquecimento global (MONTEIRO, 2016).

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre por meio da interação entre componentes da troposfera (AGUIAR e AMARO, 2015) e a radiação solar, que chega à superfície do planeta como ondas curtas, aquecendo-o, tendo os GEE papel fundamental no aprisionamento desta energia em forma de calor (CORDEIRO et al., 2012). Dentre os gases responsáveis pelo efeito estufa, estão o CO₂, CH₄ e N₂O (SIGNOR et al., 2014).

A contribuição das emissões destes gases para o aquecimento global é estimada de acordo com o *Global Warming Power*, conhecido como potencial de aquecimento global, dado em unidade de equivalente de dióxido de carbono - CO₂eq. O N₂O e o CH₄ apresentam potencial de aquecimento global de 298 e 23 vezes maiores do que o CO₂, respectivamente (BRASIL, 2017).

As modificações antrópicas, como o uso e queima de combustíveis fósseis, atividades agrícolas, desmatamento, fertilizações nitrogenadas, preparo intensivo do solo e pecuária (GIACOMINI et al., 2006; LESSA et al., 2010; CORDEIRO et al., 2012; GRAVE et al., 2013; IPCC, 2013) intensificam as emissões de GEE. Oliveira et al. (2015) considera os solos como fontes ou drenos destes gases.

A intensificação da agricultura pode trazer sérios problemas relacionados a conservação dos recursos naturais, evidenciando a necessidade do uso sustentável dos sistemas de produção, particularmente nos países tropicais, considerados fronteiras da expansão agrícola (ALVES et al., 2017). Cerca de 19-23% das emissões de GEE que incluem o N₂O e o CH₄ são provenientes da produção agrícola e mudanças no uso da terra (BEHNKE et al., 2018).

Devido ao aumento das emissões do Bioma Amazônia, entre 1995 e 2004, foi instituído o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na

Amazônia Legal, com o objetivo de reduzir o desmatamento, e conseqüentemente as emissões de GEE. Segundo Brasil (2017), os biomas com maiores emissões de gases estufa em 2015, foram os biomas Mata Atlântica (127,96 Gg CO₂eq), Cerrado (89,72 Gg CO₂eq) e Amazônia (88,43 Gg CO₂eq).

Siqueira Neto et al. (2011), ao avaliarem as emissões de GEE no bioma cerrado, observaram que os fluxos são dependentes do regime pluvial, com as maiores emissões registradas em áreas cultivadas sob altas doses de fertilizantes nitrogenados. Para Grover et al. (2013), o teor de água no solo é o responsável pelos fluxos dos gases em solos tropicais. Ainda de acordo com os autores, é possível verificar que cada ecossistema possui característica específica na dinâmica dos gases no solo.

O tipo de manejo empregado na área pode influenciar as propriedades dos solos e as emissões de GEE (METAY et al., 2007; USSIRI e JARECKI, 2009; MONTEIRO, 2016). Neste sentido, Piva et al. (2012), em estudo conduzido no bioma Mata Atlântica, observaram picos de emissão de N₂O em preparo convencional (PC) após um mês de realização do preparo do solo que promove o rompimento dos agregados, facilitando a oxidação da matéria orgânica e a mineralização do N.

Alguns sistemas de preparo do solo auxiliam no aumento da fixação de CO₂, como é o caso do sistema plantio direto (SPD) (FRANCHINI et al., 2007; USSIRI e JARECKI, 2009; PIVA et al., 2012), entretanto, segundo Metay et al. (2007), este pode vir a intensificar emissões de N₂O e CH₄, devido ao aumento da compactação do solo.

Segundo Jantalia et al. (2008), o SPD possui maior capacidade de conservar a água no solo, comparado ao PC, especialmente durante o crescimento da cultura. Deste modo, Piva et al. (2012), afirmam que uma prática que vem a reduzir a emissão de um gás, pode conseqüentemente aumentar a emissão de outro.

Buller et al. (2015) observaram que um dos fatores limitantes da produção agrícola em solos tropicais é a disponibilidade de nitrogênio no solo para as culturas. A dinâmica do N no solo influencia a produção de N₂O. Os fluxos de N₂O dos solos agrícolas são resultados de interações dinâmicas e complexas entre parâmetros climáticos, propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (USSIRI e JARECKI, 2009).

Embora o setor agropecuário seja responsável por grande parte das

emissões de GEE, este é vulnerável as mudanças climáticas, sendo que o uso de tecnologias que efetivamente priorizem a baixa emissão de gases, a fixação biológica de nitrogênio, a recuperação de pastagens e a implantação de sistemas integrados (BRASIL, 2015), devem ser melhor estudados em relação à dinâmica de gases no solo, assim como para as emissões de N₂O.

2.2 SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

Dos primórdios da agricultura até os dias atuais, as práticas de lavoura e pecuária se tornaram atividades realizadas separadamente, devido as diferentes operações nas etapas de produção, exigindo conhecimento específico dos agricultores (ALVES et al., 2017). Com a expansão de lavouras de soja e degradação de áreas pela pecuária no Brasil, o uso dos sistemas de integração se tornou uma opção, resultado da diversificação na produção agrícola, com a realização de diferentes atividades em mesma área (SALTON et al., 2014).

Uma das premissas descritas no Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas, visando a diminuição da emissão de carbono da agricultura no Brasil, é o aumento na adoção de sistemas ILPF em 4 milhões de hectares, até o ano de 2020 (BRASIL, 2015). Segundo Brasil (2018), de 2010 a 2016, a expansão de áreas com implantação destes sistemas atingiu um patamar de 5,83 milhões de hectares.

Pereira et al. (2009) afirmam que os sistemas integrados podem ser divididos em: Agropastoril, conhecido como ILP, que engloba produção agrícola e a pecuária, possibilitando realização de rotação, consorciação ou sucessão, em mesma área e mesmo ano agrícola, ou múltiplos anos agrícolas; Agrossilvipastoril (ILPF), constituído por componente agrícola, pecuário e florestal, numa mesma área de rotação, sucessão ou consorciação; Silvipastoril, conhecido como IPF, composto por pecuária e floresta, em consorciação em mesma área; e sistema Silviagrícola - ILF, com consorciação de espécies arbóreas e cultivos agrícolas, podendo ser anuais ou perenes.

A integração de sistemas intensivos tem se mostrado uma alternativa para obtenção de maiores produtividades (ALVARENGA e GONTIJO NETO, 2011), possibilitando a exploração de áreas durante todo o ano agrícola, favorecendo maior oferta de grãos, leite e carne, com diminuição de custos (BALBINO et al., 2011) e

melhorias na qualidade do solo (FERNANDES et al., 2016), devido às diversificações provenientes dos materiais disponíveis nestes sistemas (ASSIS et al., 2015).

O diferencial entre o sistema ILPF e os demais sistemas é o modo como as atividades são planejadas e posteriormente executadas, onde a inserção de lavouras, componentes arbóreos e pecuária, viabiliza o sistema em um patamar sustentável (ALVARENGA et al., 2010). Além disso, a consorciação de espécies forrageiras nestes sistemas possibilita a recuperação de pastagens degradadas (ASSIS et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015). A ILPF reconstitui a cobertura do solo (BALBINO et al., 2011), a conservação do sistema solo-água, o zoneamento climático, agrícola e ecológico, além de favorecer o manejo integrado de pragas (BEHLING et al., 2014).

Entretanto, Carvalho et al. (2017), ao avaliarem o rendimento de culturas anuais, observaram que o rendimento do sorgo foi menor em ILPF do que em ILP, consequência do sombreamento das árvores. Franchini et al. (2014) também visualizaram importantes reduções na produtividade da soja e da pastagem em sistema ILPF na região noroeste do Paraná. Embora a diversificação de espécies em ILPF possa ser vantajosa do ponto de vista ambiental, a competição por água, luz e nutrientes entre elas, também deve ser considerada, uma vez que tem impacto direto sobre seu desempenho agrônomo e econômico, o que muitas vezes pode inviabilizar o sistema.

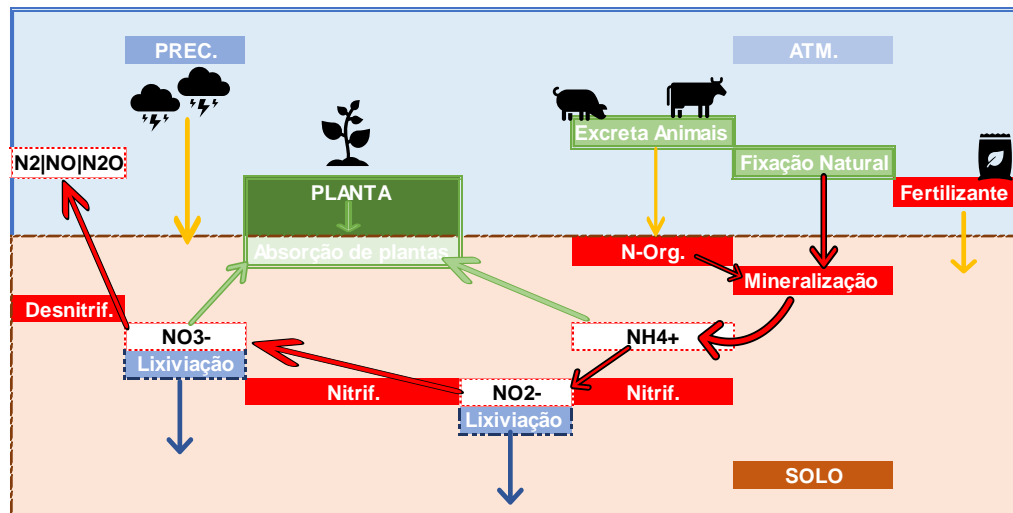
Assim, é importante a realização de maiores estudos sobre o uso da prática (ASSIS et al., 2015), buscando compreender o potencial de sequestro de C no solo (SALTON et al., 2014) e a produção de GEE (CARVALHO et al., 2014). Deste modo, se tem como necessidade a execução de pesquisas em experimentos a campo e regiões específicas, antes de utilização de qualquer prática de gestão em grandes áreas (TIAN et al., 2015).

2.3 DINÂMICA DOS FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO

Os processos biológicos que ocorrem no solo são responsáveis por grande parte da produção de N_2O , sendo os microrganismos dependentes da disponibilidade de nitrogênio reativo (CIAIS et al., 2013). A produção do N_2O ocorre através do ciclo biogeoquímico do nitrogênio (Figura 2.1), entretanto, existem dúvidas relacionadas à atuação de comunidades redutoras de nitrato e suas ligações com as

variáveis ambientais (SOUSA NETO, 2008). A relação entre produção-consumo de N_2O no solo também é resultado dos processos bióticos e abióticos (TIAN et al., 2015). Para Harrison (2008), as fontes responsáveis pelo ciclo do N se dão pela influência dos microrganismos, ações antrópicas e processos naturais do solo e da cultura.

Figura 2.1 – Ciclo biogeoquímico do nitrogênio.



Fonte: Adaptado de Harrison (2008). *Setas vermelhas indicam influência dos microrganismos na transformação do N, setas amarelas indicam fontes humanas responsáveis na deposição do N, setas verdes indicam processos naturais que afetam a dinâmica de N. Setas azuis indicam forças físicas que atuam na dinâmica do ciclo do N.

Os GEE representam uma das fases dos ciclos biogeoquímicos globais, através da ligação entre os ciclos do carbono e do nitrogênio, devido a metabolização dos organismos para ambos os elementos (CIAIS et al., 2013). Segundo Ruggieri e Cardoso (2017), os processos de nitrificação e desnitrificação dos microrganismos resultam em aproximadamente 70% das emissões de N_2O . Lourenço et al. (2018) ao avaliarem a dinâmica dos fluxos de N_2O em sistemas de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça afirmaram que os processos de nitrificação e desnitrificação por microrganismos ocorrem simultaneamente no solo.

A fase de nitrificação ocorre em duas etapas, sendo primeiramente o NH_4^+ oxidado a NO_2^- por bactérias de gênero *nitrossomas*, e posteriormente, o NO_2^- é convertido em NO_3^- por bactérias do gênero *nitrobacter* (YAMAGUCHI et al., 1994). O processo de nitrificação ocorre sob condições aeróbias. Para Cardoso et al. (2001), o acúmulo de nitrato no solo favorece a liberação do N_2O para a atmosfera.

O processo de desnitrificação é considerado a última reação da cadeia do ciclo de nitrogênio, em que o N_2 fixado do ar é devolvido à atmosfera,

resultado de condições anaeróbias, sendo o N_2O intermediário do processo (CARDOSO et al., 2001). Segundo Correa (2014), o processo de desnitrificação é resultado da redução de nitrato em formas gasosas de nitrogênio. Vieira (2017) afirma que a matéria orgânica oxidável é necessária como fonte de C e elétrons, na condução do processo de desnitrificação, que gera o N_2O .

Vieira (2017) afirma que os fatores que afetam o processo de nitrificação estão relacionados ao uso de fertilizantes nitrogenados pelo aumento o conteúdo de nitrato, o aumento da acidez do solo favorece as emissões de N_2O e a umidade do solo. Ainda segundo o autor as propriedades do solo como porosidade, densidade e umidade em capacidade de campo (CC) podem influenciar a etapa de desnitrificação.

Em solos argilosos sob 60% da CC, tem-se a maior emissão de N_2O , comparados aos solos de textura arenosa. A desnitrificação pode ser acelerada pela quantidade água nos poros do solo (EPPA > 75%), favorecendo condições anaeróbicas para o aumento dos fluxos de N_2O (ALMEIDA et al., 2015; SOARES et al., 2016). A produção de N_2O possui grande variabilidade no espaço e tempo, podendo as estimativas em regiões tropicais serem incertas (CIAIS et al., 2013), devido a dinâmica dos fluxos de N_2O (VIEIRA, 2017).

2.4 EMISSÕES DE N_2O E SISTEMAS ILPF

Em solos tropicais a rápida mineralização da matéria orgânica é resultante de temperaturas elevadas e aumento da umidade do solo, que favorece a produção de N_2O , quando comparado aos solos de clima temperado (RODRIGUES e MELLO, 2012). A mudança de sistemas de produção agrícola tradicionais para sistemas de integração, auxilia na modificação da área, gerando um microclima específico e ocasionando a diminuição de temperatura no ambiente (CORDEIRO et al., 2015).

A ILPF merece destaque pelo sinergismo de seus componentes que incluem adequação ambiental e viabilidade econômica de atividades agropecuárias (OLIVEIRA et al., 2012). Alves et al. (2017) afirmaram que os sistemas integrados, possuem potencial para a mitigação de gases de efeito estufa, isso devido a modificação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em função do novo ambiente, especialmente quando se tem árvores no sistema.

Nogueira et al. (2016), ao avaliarem os fluxos de N_2O em diferentes sistemas de manejo, observaram que a ILPF apresentou menores fluxos de N_2O , comparado aos sistemas de monocultivo. Germon et al. (2017) estudando as emissões de N_2O em florestas comerciais, afirmaram que a silvicultura influenciou na dinâmica de produção de GEE, destacando a importância do uso de práticas silviculturais adequadas no contexto de mudanças climáticas.

Para Ruggieri e Cardoso (2017) a ILPF apresenta aspectos que podem promover a mitigação de N_2O , através da união de produção animal-vegetal, manejo adequado do pasto visando reduzir a compactação do solo (p.e. de animais e maquinário agrícola) e o aporte de matéria orgânica provenientes de pastagens. A adoção do componente arbóreo no sistema traz a possibilidade de manutenção de matéria orgânica através da deposição da serapilheira na superfície (CORDEIRO et al., 2015).

Segundo Carvalho et al. (2017), é necessário que se tenha uma compreensão da interação dos fluxos de N_2O e dos sistemas de ILPF para auxiliar no entendimento das modificações resultantes da crescente expansão das áreas integradas no Brasil. O planejamento e acompanhamento do sistema que será implantando na área, resulta em maior equilíbrio das variáveis que influenciam a produção de N_2O com o passar do tempo.

O acompanhamento e avaliação da dinâmica dos fluxos de N_2O em ILPF deve ser realizado de forma criteriosa. Para isso, Klein e Harvey (2015), assumem o cumprimento de algumas medidas necessárias, que garantem o menor erro possível durante as coletas, como o acompanhamento da área por um período de pelo menos um ano, com obtenção de amostras de N_2O em intervalo máximo de uma semana, sendo realizadas no mínimo coletas de 3 réplicas de amostragem do gás.

A coleta de N_2O do solo é efetuada com utilização de câmaras estáticas, sendo estas automatizadas (GRACE et al., 2015) ou manuais (HUTCHINSON e MOSIER, 1981). Esta metodologia é amplamente utilizada nas mensurações das emissões de gases estufa nos últimos anos (JONES et al., 2011; KLEIN e HARVEY, 2015).

As câmaras manuais são constituídas por base de metal cravada ao solo em profundidade de 5 cm e coberta por tampa de PVC, além de válvula para acoplamento de seringas que são utilizadas nas coletas de amostras do gás

(ALMEIDA et al., 2015). Posterior as coletas de N_2O , as amostras são analisadas por cromatografia gasosa com uso de detectores (p.e. detector de captura de elétrons). Nos sistemas automatizados as coletas e análises são realizadas em tempo real, visando mínimas perturbações no sistema solo-planta e atmosfera, sendo idênticas as câmaras manuais, porém com presença de sensores externos e internos de alta resolução (GRACE et al., 2015).

Além do uso de câmaras estáticas, existem metodologias de simulação das emissões de N_2O em áreas agrícolas. FANG et al. (2015) em experimento sob cultivo de milho irrigado nos EUA, utilizaram algoritmos (p.e. RZWQM2) para simularem as emissões de N_2O durante as etapas de nitrificação e desnitrificação. Gillette et al. (2017) ao utilizarem algoritmos na simulação de emissões de N_2O sob diferentes sistemas de preparo do solo, puderam afirmar a necessidade de realização de melhorias no modelo de simulação utilizado (RZ-SHAW), o que poderia auxiliar na melhor quantificação do gás.

Para Chadwick et al. (2014), as emissões de N_2O provenientes da agricultura variam no espaço e no tempo, sendo obtidas com utilização de câmaras estáticas de 1 m², devendo haver a maximização do número de réplicas, visando a redução da variação dos fluxos do gás. Segundo Hensen et al. 2013, o uso de instrumentos confiáveis é necessário, pois a melhoria na obtenção de base de dados está nos sensores de alta frequência e alta sensibilidade. Embora câmaras estáticas sejam consideradas equipamentos robustos, a sua utilização é necessária, devido à escassez de recursos e a possibilidade de baixo custo na obtenção, com simples manuseio e sem necessidade de energia elétrica para a operação (COSTA et al., 2006; KLEIN e HARVEY, 2015)

3 ARTIGO A - EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA EM LONDRINA-PR

3.1 RESUMO

O aumento das emissões de óxido nitroso (N_2O) ocorre com intensificação dos sistemas de produção agrícola. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar os fluxos de N_2O sob sistemas integrados e exclusivos de produção na região Norte do Paraná. O experimento foi conduzido em unidade experimental da Embrapa Soja, em Londrina PR, com início em 11/09/2017 e término em 14/09/2018. Foram avaliados cinco sistemas agrícolas: Integração Lavoura-Floresta (ILF), Lavoura (L), Integração Pecuária-Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E). Foram avaliadas emissões de N_2O , espaço poroso preenchido por água (%EPPA), temperatura interna do ar durante as amostragens do gás (TI), dados de precipitação pluviométrica e acumulado dos fluxos de N_2O durante estação chuvosa e seca (Estação A: set/2017-março/2018 e Estação B: abril-set/2018). A análise dos fluxos de N_2O se deu com uso de modelos lineares misto, como medidas repetidas no tempo. Para comparação entre sistemas utilizou-se o teste Tukey a 5%. As variáveis %EPPA, precipitação, TI foram correlacionadas com as emissões através dos coeficientes de Spearman a 5%. Para a análise estatística foi utilizado o software R, na plataforma do RStudio. As emissões de N_2O em ILF e L não diferiram entre si em ambas estações, apenas na interação entre tempo *versus* sistemas. Durante estação A as maiores emissões ocorreram devido revolvimento do solo e a decomposição dos resíduos vegetais. Já em estação B, o aumento dos fluxos de N_2O ocorreu sob influência das variáveis solo-clima, que aceleraram, a perda de fontes de N no solo (fertilização nitrogenada e dos resíduos da soja). Para IPF, P e E, houve diferenças significativas entre os sistemas em estação B, onde E apresentou maior emissão do gás comparado aos sistemas *com Urochloa brizantha*. Não houve diferenças significativas do acúmulo de N_2O para ILF e L, apenas entre estações. Em IPF, P e E, o comportamento nos valores acumulados de N_2O foi semelhante a ILF e L, com diferenças apenas entre estações. A influência das variáveis solo-clima e a entrada de fontes de N no solo auxiliam na intensificação das emissões de N_2O nos sistemas de produção agrícola.

Palavras-chave: fluxos de óxido nitroso, emissões de GEE, revolvimento do solo.

3.2 ABSTRACT

Increase of nitrous oxide emissions (N_2O) occur with intensification of agricultural production systems. Thus, the objective of this study was to evaluate N_2O fluxes under integrated and exclusive production systems in the Northern region of Paraná. Experiment was conducted in an experimental unit of Embrapa Soja, in Londrina PR, beginning on 09/11/2017 and ending on 09/14/2018. Five agricultural systems were evaluated: Integrated crop-forest system (ILF), crop system (L), integrated livestock-forest system (IPF), livestock (P) and eucalyptus production system (E). N_2O emissions, water filled pore space (%WFPS), internal temperature of chamber (TI),

rainfall data during the rainy and dry season (season A: set / 2017-March / 2018 and season B: April-Sep / 2018) were determined. Analysis of the N₂O fluxes occurred with use of mixed linear models, as measures repeated in time. For comparison between systems the Tukey test was used at 5%. %WFPS, rainfall data, TI were correlated with the N₂O emissions for Spearman coefficients at 5%. For the statistical analysis, R software was used in the RStudio platform. N₂O emissions in ILF and L did not differ between them in both seasons, only in the interaction between time versus systems. During season A the largest emissions occurred due to soil uptake and decomposition of plant residues. At season B, increase in N₂O fluxes occurred under the influence of soil-climate variables, which accelerated the loss of N sources in the soil (nitrogen fertilization and soybean residues). IPF, P and E were significant differences between the systems in season B, where E presented higher gas emission compared to the systems with *Urochloa brizantha*. There were no significant differences in N₂O cumulative fluxes for ILF and L, only between seasons. In IPF, P and E, the behavior in N₂O cumulative fluxes was similar to ILF and L, with differences only between seasons. Influence of the soil-climate variables and the input of N sources in the soil helps in the intensification of N₂O emissions in agricultural production systems.

Keywords: Nitrous oxide fluxes, GEE emissions, soil management.

3.3 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial maximiza a necessidade de maiores produtividades para agricultura, visando atender a demanda crescente por alimentos, fibras e energia. O setor agrícola deve se adaptar as mudanças resultantes deste crescimento através do uso de sistemas considerados diversificados que priorizem a conservação do meio ambiente.

Entretanto, para a utilização de sistemas integrados em substituição aos sistemas tradicionais de produção agrícola, é necessário um conhecimento sobre os reais aspectos e particularidades destes, aliado ao impacto socioambiental causado pelos mesmos, visando também, a busca de alternativas para reverter o quadro atual de mudanças climáticas.

A hipótese considerada neste trabalho é de que o uso de sistemas agrícolas alternativos pode contribuir na redução de emissões de óxido nitroso (N₂O) devido a diversificação pelo aporte de matéria orgânica no solo e microclima gerado no ambiente, reduzindo a temperatura do ar e beneficiando a cultura empregada na correta ciclagem de nitrogênio.

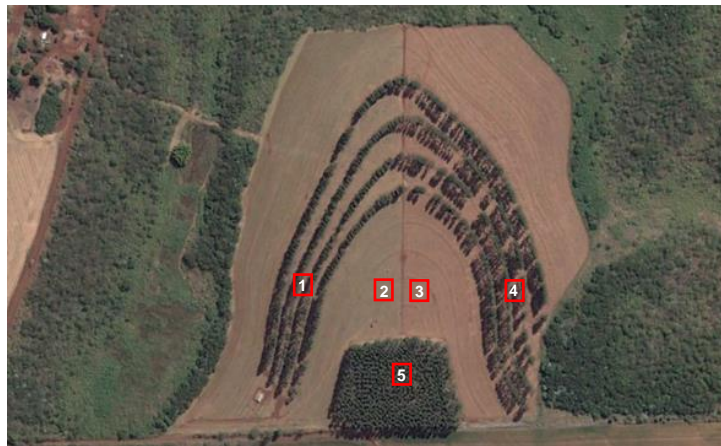
Buscando avaliar a eficiência dos sistemas na mitigação de N₂O, o trabalho objetivou avaliar os fluxos de N₂O, em sistemas integrados e sistemas tradicionais de produção no bioma Mata-Atlântica, na região Norte do Paraná.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Descrição da Área Experimental

O estudo foi conduzido na Unidade de Referência Tecnológica (URT) da Embrapa Soja, localizada na região de Londrina, PR (23°12'S, 51°11'W e 585 m de altitude), no Norte do Paraná (Figura 3.1). O clima segundo Koeppen é considerado subtropical (Cfa) com verões quentes, concentrações de chuvas no verão e baixa ocorrência de geadas (ALVARES et al., 2014). A temperatura média anual da região é de 21°C, com máxima e mínima de 27 e 16°C, respectivamente, e precipitação média anual em torno de 1600 mm (IAPAR, 2016). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), muito argiloso (75% argila, 20% silte e 5% areia).

Figura 3.1 - Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Soja – Integração Pecuária-Floresta (1); Pecuária (2); Lavoura (3); Integração Lavoura-Floresta (4) e Eucalipto (5).



Fonte: Google Earth®.

A área experimental foi implantada no ano de 2010 em 22 hectares com sistemas integrados (Integração Lavoura-Floresta - ILF, Integração Pecuária-Floresta - IPF) e exclusivos de produção (Lavoura – L, Pecuária – P e Eucalipto - E), visando avaliar o desempenho das culturas como soja, milho e trigo, com presença de componente arbóreo da espécie *Eucalyptus grandis* GPC 23, além da pastagem com braquiárias da espécie *Urochloa brizantha* cv. piatã. Para o estudo foram utilizados cinco sistemas (Figura 3.2): ILF, IPF, L, P e ME. O histórico dos sistemas

desde a implantação da unidade pode ser visualizado em Tabela 6.1.

Figura 2.2 - Sistemas Pecuária (31/07/18), IPF (07/01/2018), Lavoura (30/10/2017), ILF (30/10/2017) e Eucalipto (27/07/2018) utilizados na avaliação das emissões de N_2O em Unidade de Referência Tecnológica. Londrina, PR.



3.4.2 Determinação dos Fluxos de N_2O

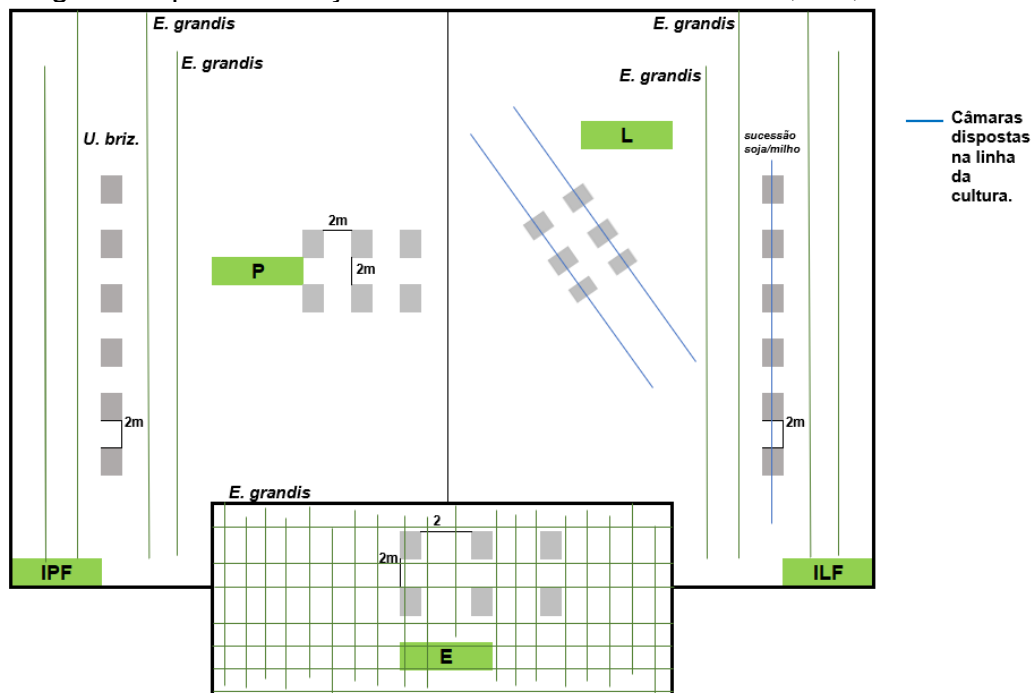
O monitoramento dos fluxos de N_2O tiveram início durante estação chuvosa em 11/09/2017. Foram utilizadas 6 câmaras estáticas de polipropileno, com dimensões de 60 x 40 x 10 cm, acopladas em base de aço galvanizado (2 x 2 cm), inseridas ao solo até profundidade de 10 cm. A finalidade do uso das bases foi garantir a vedação do sistema câmara-base formando barreiras contra possíveis vazamentos do gás. As câmaras foram equipadas com válvulas de três vias, para inserção de seringas durante a coleta de amostras de N_2O .

Nos sistemas com componente de lavoura (L e ILF), as primeiras coletas foram realizadas sob resíduos vegetais de aveia preta comum até o preparo mínimo do solo (escarificação a 25 cm de profundidade) em 29/09/2017. Após o preparo mínimo houve a semeadura da soja em 02/10/2017 e colheita em 04/03/2018. Em ambos os sistemas ocorreram dois eventos de fertilização nitrogenada, o primeiro em 12/03/2018 (NPK – 32 00 00, totalizando 52 kg de N) e o segundo durante a semeadura do milho em 14/03/2018 (NPK – 14 34 00, total de 28 kg de N), sendo a colheita realizada em 04/09/2018. As bases dos sistemas L e ILF foram dispostas nas linhas das culturas e estas foram trocadas apenas em eventos extremos (Tabela 6.2).

Em IPF, P e E as coletas tiveram início juntamente com L e ILF. Nos

sistemas com eucalipto, o desbaste ocorreu em intervalo de 5 anos após a implantação da URT. A presença de animais em IPF e P ocorreu no início (set-out/2017) e no final do experimento (set-out/2018), com aproximadamente 30 u.a. (unidade animal) distribuídas em sistema extensivo em toda área. Em ILF e IPF as câmaras ficaram dispostas após a segunda fileira de eucalipto. Para L, P e E a disposição das câmaras ocorreu no centro do sistema (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Representação Esquemática da disposição de câmaras estáticas nos sistemas agrícolas para avaliação dos fluxos de N₂O. Londrina, PR, 2018.



Fonte: A autora. *sem escala.

As coletas de gases foram realizadas no intervalo entre 9:00 e 10:00 horas, conforme Jantalia et al. (2008) e Alves et al. (2012), que afirmaram que nesse período do dia se tem a melhor representatividade da média diária dos fluxos N₂O. Realizaram-se as amostragens semanalmente com frequência de dois dias, totalizando 92 coletas durante todo experimento. Porém em estação seca, as coletas foram efetuadas apenas em um dia na semana. Na coleta e armazenamento de N₂O, foram utilizadas seringas de polipropileno de 60 mL, sendo o produto obtido transferido por bomba de vácuo sob tensão de 100 kPa e posteriormente selados com septo de borracha clorobutil. Os tempos de incubação do gás nas câmaras foram de 0, 30 e 60 minutos. O término das coletas ocorreu em 14/09/2018.

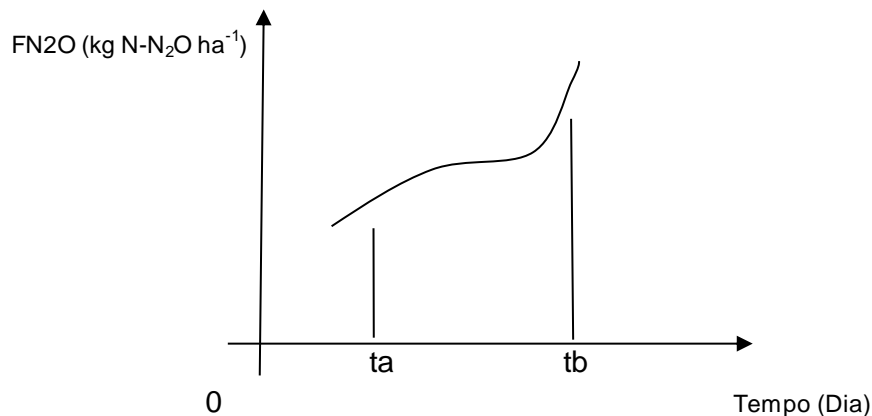
As concentrações de N₂O foram obtidas com utilização de

equipamento de cromatografia gasosa (*Trace GC Ultra*, Thermo Scientific), com detector de captura de elétrons (ECD), sendo o hélio utilizado como gás de arraste. Os FN_2O foram determinados através de relação linear entre o tempo de incubação do gás e as concentrações (Equação 1).

$$\text{FN}_2\text{O} = \rho \left(\frac{V}{A} \right) \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)_{t=0} \quad (1)$$

onde $\frac{\partial C}{\partial t}$ corresponde a inclinação da curva de variação de concentração do N_2O em função do tempo em $t = 0$ ($\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$); V corresponde ao volume da câmara em m^3 ; A é o valor da área do solo coberta pela câmara (m^2) e ρ corresponde a densidade do ar ajustada a temperatura no ambiente de amostragem (g m^{-3}). Foram determinados também os acumulados de N_2O através da integração de área dos valores médios de FN_2O e a escala de tempo, ou seja, os dias de coletas (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Representação esquemática da obtenção dos acumulados dos fluxos de N_2O para os sistemas de Integração Lavoura-Floresta, Lavoura, Integração Pecuária-Floresta, Pecuária e Eucalipto.



3.4.3 Determinação das variáveis solo-clima

Foram realizadas 92 coletas para obtenção da umidade gravimétrica ($\text{Ug}\%$), temperatura interna das câmaras (TI) e dados pluviométricos, no período de 11/09/2017 a 14/09/2018. Para $\text{Ug}\%$, coletaram-se amostras sem estrutura preservada na camada de 0,0 a 0,1 m com três repetições conforme Embrapa (1997).

A TI foi obtida através de utilização de termômetro digital colocado em uma das câmaras estáticas em cada um dos sistemas. Os dados pluviométricos foram coletados com utilização de pluviômetro convencional em três repetições na área.

Para densidade do solo (d_s) e densidade de partículas (d_p) foram realizadas três coletas de amostras (10/10/2017, 04/01/2018 e 19/03/2018) com estrutura preservada em 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m de profundidade e três repetições. O Espaço Poroso Preenchido por Água (%EPPA), unidade adimensional, foi mensurado através da relação da $U_g\%$ ($g\ g^{-1}$), d_s e d_p ($Mg\ m^{-3}$) para camada de 0,0-0,1 m e três repetições (Equação 2).

$$EPPA\% = \left(\frac{U_g\% \cdot d_s}{1 - \frac{d_s}{d_p}} \right) * 100 \quad (2)$$

Na avaliação do comportamento das variáveis, os dados foram separados em duas estações, sendo Estação A compreendida de setembro de 2017 a março de 2018 e Estação B de março a setembro de 2018.

3.4.4 Análise Estatística

Buscando melhor ajuste dos dados, foram eliminados os dias em que houveram perdas de amostras, onde as câmaras estáticas foram consideradas réplicas dentro de cada sistema (SATO et al., 2017). Para avaliação do comportamento dos fluxos de N_2O foram utilizados modelos de efeitos mistos com o pacote nlme (PINHEIRO et al., 2018) e lme4 (BATES et al., 2015), sendo os fluxos considerados medidas repetidas no tempo; os sistemas de produção como efeitos fixos e as réplicas como efeitos aleatórios. A escolha do modelo final ocorreu seguindo o critério de informação de Akaike (AIC).

Após o ajuste de modelo, realizou-se análise da variância para os sistemas, tempo e da interação entre sistemas *versus* tempo. Quando houve diferenças significativas realizou-se teste Tukey a 5% de probabilidade de erro para verificação de diferença média entre os sistemas. Variáveis solo-clima foram correlacionadas com fluxos de N_2O através do teste de Spearman ($p < 0,05$). Para os dados de acumulados de N_2O foram verificados os pressupostos de ANOVA e normalidade, sendo a média entre sistemas comparados pelo teste Tukey a 5%. A

análise foi realizada em software R, na plataforma do Rstudio (Rstudio Team, 2016).

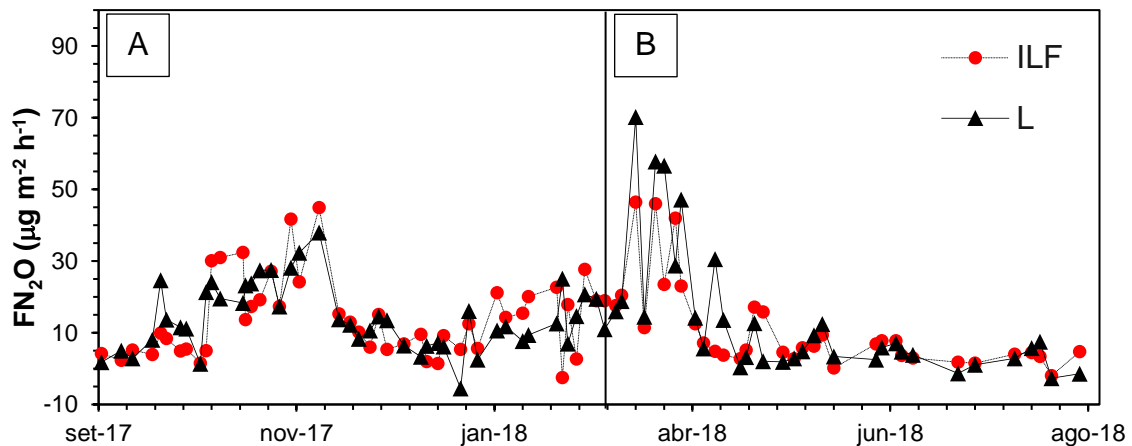
3.5 RESULTADOS

3.5.1 Fluxos de N₂O em ILF e L

Os fluxos de N₂O para ILF e L apresentaram amplitude de - 6 a 50 $\mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, com média de $13,99\pm 1,79$ e $14,06\pm 1,81 \mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente, não havendo diferenças entre os sistemas para estação A (Figura 3.5A). Houve significância para interação entre os sistemas e o tempo com o aumento dos fluxos de N₂O após o preparo do solo e semeadura da soja (Tabela 6.3A).

Na estação B, os fluxos de N₂O estiveram entre -3 e 72 $\mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, em média com $11,04\pm 3,14 \mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para ILF e $13,60\pm 3,19 \mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em L (Figura 3.5B), sem diferenças significativas entre os sistemas (Tabela 6.3B). A entrada de fontes de N no solo favoreceu o aumento dos fluxos de N₂O por aproximadamente 30 dias, decrescendo após esse período (Figura 3.5 A e B).

Figura 3.5 - Fluxos de N₂O (FN₂O) em sistema de Integração Lavoura-Floresta (ILF) e Lavoura (L) durante estação A (11/09/2017-08/03/2018) e estação B (12/03-23/08/2018).



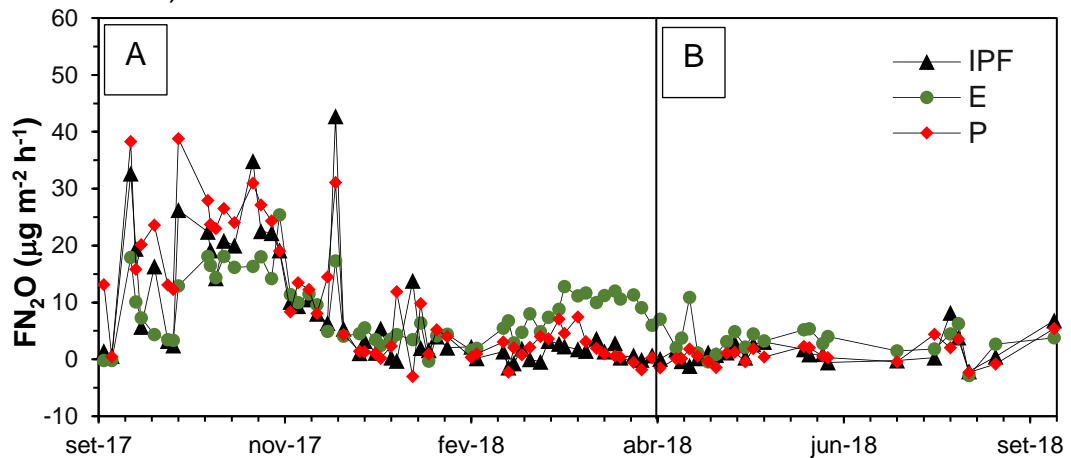
3.5.2 Fluxos de N₂O em IPF, P e E

A amplitude dos fluxos de N₂O para IPF, Pecuária e ME esteve entre -3 e 43 $\mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, durante estação A (Figura 3.6A). Não houve diferenças entre sistemas, apenas na interação tempo e sistemas (Tabela 6.3C). Os fluxos de N₂O para IPF, P e E foram $8,81\pm 1,95$, $11,16\pm 1,96$ e $8,54\pm 1,93 \mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$,

respectivamente, sendo as maiores emissões de N₂O observadas no período de outubro a dezembro de 2017.

Na estação B, os fluxos de N₂O apresentaram amplitude entre -3 e 11 $\mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 3.6B). Houve diferença entre os sistemas e na interação tempo *versus* sistemas (Tabela 6.3D). O sistema E apresentou fluxo médio de 4,53 $\mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, sendo estatisticamente superior a IPF e P ($p < 0,05$), com fluxos de 1,32 $\mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e 0,69 $\mu\text{gN-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente, não diferindo entre si.

Figura 3.6 - Fluxos de N₂O (FN₂O) em sistema de Integração Pecuária-Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E) durante estação A (22/09/2017-29/03/2018) e estação B (02/04-14/09/2018).

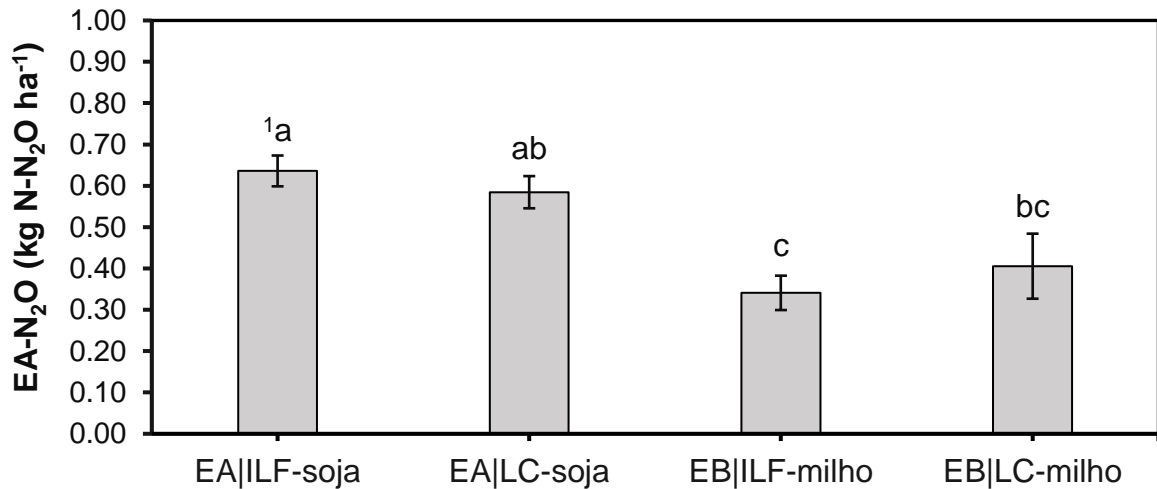


3.5.3 Emissões Acumuladas de N₂O

O sistema ILF apresentou maior emissão acumulada de N₂O ($0,636 \pm 0,037 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$) no período correspondente a estação A e menor acúmulo N₂O durante a estação B ($0,341 \pm 0,041 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$) (Figura 3.7).

Já em L não houveram diferenças entre as emissões de N₂O nas duas estações. O acúmulo médio de N-N₂O durante a estação A foi 0,610 kg de N ha⁻¹ e em estação B de 0,373 kg de N ha⁻¹.

Figura 3.7 - Emissões acumuladas de N₂O (EA-N₂O) em sistema de Integração Lavoura-Floresta (ILF) e Lavoura (L) durante estação A (11/09/2017-08/03/2018) e estação B (12/03-23/08/2018).

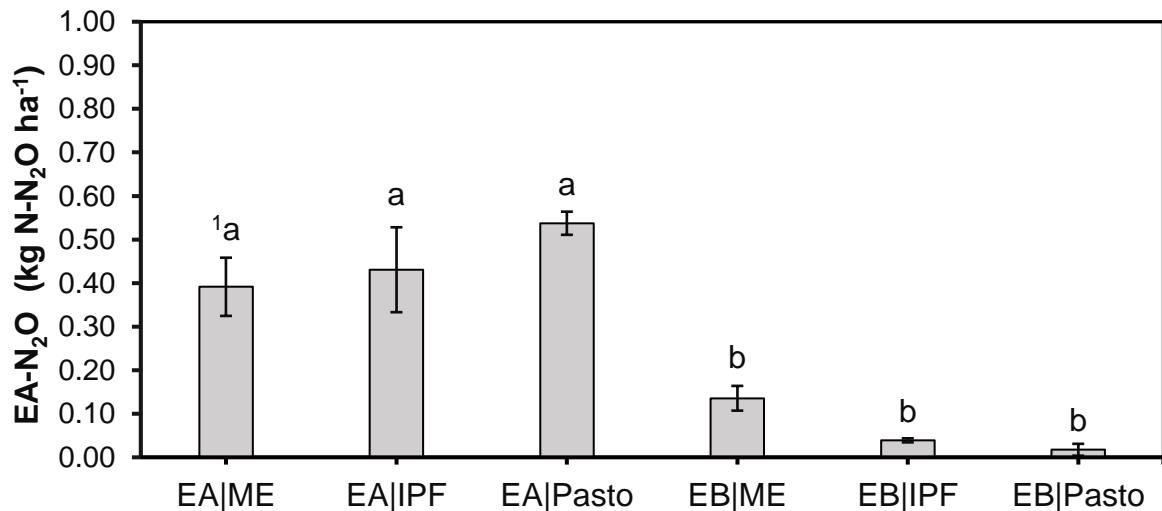


¹Médias com diferentes letras diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Nos sistemas E, IPF e P, as emissões acumuladas de N₂O foram maiores na estação A do que em estação B (Figura 3.8). Não houve diferença entre os sistemas avaliados, sendo a perda acumulada de N-N₂O menor quando comparada a estação A (Figura 3.8).

O acúmulo de N durante a estação A foi em média 0,453 kg de N ha⁻¹ e em estação B de 0,064 kg de N ha⁻¹.

Figura 3.8 - Emissões acumuladas de N₂O (EA-N₂O) em sistema de Integração Pecuária-Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E) durante estação A (22/09/2017-29/03/2018) e estação B (02/04-14/09/2018).



¹Médias com diferentes letras diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3.5.4 Correlação entre Variáveis Solo-Clima e os FN₂O

Os fluxos de N₂O nos sistemas ILF e L apresentaram correlação significativa e positiva com os eventos de precipitação e TI (Tabela 3.1A). Para o %EPPA não houve correlação dos fluxos de N₂O para ILF e L durante o período avaliado. Nos demais sistemas houve correlação significativa e positiva entre o %EPPA e o sistema IPF, e para P com a TI (Tabela 3.1B). Já os fluxos de N₂O em E não se correlacionaram com as variáveis solo-clima.

Tabela 3.1 - Coeficientes de correlação de Spearman entre variáveis solo-clima e fluxos de N₂O dos sistemas de Integração Lavoura-Floresta (ILF), Lavoura (L), Integração Pecuária-Floresta (IPF), Pecuária (P) e Eucalipto (E).

Var. solo-clima	Fluxos de N ₂ O - (A)		
	ILF		L
%EPPA	0,01		0,17
Precipitação (mm)	0,27*		0,28*
TI (°C)	0,24*		0,31*
Var. solo-clima	Fluxos de N ₂ O - (B)		
	IPF	P	E
%EPPA	0,51*	0,03	-0,10
Precipitação (mm)	0,20	0,22	0,21
TI (°C)	0,01	0,26**	0,19

*Valores significativos a **5% e *1% de probabilidade de erro.

3.6 DISCUSSÃO

3.6.1 Fluxos de N₂O em ILF e L

O preparo mínimo influenciou a dinâmica das emissões de N₂O do solo (Figura 3.5), podendo ter acelerado a decomposição dos resíduos vegetais da aveia preta durante a estação A. Ussiri e Jarecki (2012) avaliando o efeito de diferentes tipos de preparo sobre os fluxos de N₂O em região de clima temperado, puderam constatar que a redução das emissões pode ocorrer com a adoção do SPD.

Monteiro (2016) ao avaliar as emissões de N₂O em SPD e PC (Preparo Convencional) no bioma Mata Atlântica, afirmou que o sistema com revolvimento do solo aumentou os fluxos do gás. Sato et al. (2017) em bioma Cerrado observaram que o PC apresentou fluxos de N₂O duas vezes maiores que os demais sistemas (SPD, ILP-SPD e Cerrado Nativo). Para Yuan et al. (2018), não só o sistema, mas o tempo de consolidação do manejo do solo pode influenciar as emissões de N₂O.

A semeadura da soja promoveu o aumento dos fluxos de N_2O , possivelmente devido a fixação biológica de N_2 atmosférico, como observado por Siqueira Neto et al. (2011). No fim do ciclo da soja, o aumento das emissões de N_2O está relacionado a fase de senescência da cultura, uma vez que os nódulos das raízes possuem concentrações consideráveis de N.

Segundo Yuan et al. (2018) a decomposição dos resíduos culturais ocorrem sob consumo de oxigênio, podendo estimular o aumento do processo de desnitrificação e conseqüentemente da produção de N_2O . Lourenço et al. (2018) estudando a influência de microrganismos no ciclo do nitrogênio e nas emissões de N_2O , afirmaram que compostos orgânicos e fertilizantes nitrogenados auxiliam no aumento dos FN_2O .

3.6.2 Fluxos de N_2O em IPF, P e E

Os maiores fluxos de N_2O estiveram concentrados no período de 02/10-27/11/18, sendo a quantidade de precipitação registrada neste período de 374 mm. Carvalho et al. (2017) ao estudarem as emissões de N_2O em sistemas integrados, pastagem contínua e cerrado, encontraram maiores fluxos de N_2O após eventos de precipitação e baixos fluxos durante períodos de seca.

Na estação B, as emissões foram menores com o passar do tempo, porém o sistema E apresentou maior emissão média da estação, comparada a IPF e P, mesmo com a presença de animais em determinadas épocas (Figura 3.6). As emissões de N_2O em E podem ter sido influenciadas pela relação C:N da serapilheira. Ming et al. (2018) observaram que os fluxos de N_2O diminuíram com o aumento da relação C:N em florestas plantadas, entretanto, o aumento do N disponível no solo reduziu a relação C:N da serapilheira e favoreceu a produção de N_2O .

Já para a presença de animais nos sistemas com *U. brizantha*, Sato et al. (2017) afirmam que as emissões de N_2O estão em maior parte relacionadas a forragem e resíduos de culturas anteriores do que a excreta de animais em sistemas integrados. A natureza espacial das câmaras estáticas também pode reduzir a influência dos animais nas emissões de N_2O em área de pasto (HOLDER et al., 2018).

Lai et al. (2017) ao estudarem em região de clima temperado a dinâmica do N na aplicação de fertilizantes em áreas com *Panicum Virgatum* L., durante período de 6 anos, observaram que a gramínea possui a capacidade de

redução dos fluxos de N_2O com o passar do tempo. Este fato pode explicar as menores emissões de N_2O em IPF e P.

3.6.3 Emissões Acumuladas de N_2O

A menor emissão acumulada de N- N_2O ocorreu em ILF na estação B. Segundo Carvalho et al. (2017), menores fluxos de N_2O em ILPF após período de 2 anos, ocorre pela deposição da serapilheira do eucalipto no solo. Cardoso et al. (2016) ao avaliarem a intensificação das emissões de N_2O sob a pecuária de corte no Brasil, afirmam que a vantagem de utilização dos sistemas integrados está associada a redução de área de produção.

As emissões acumuladas de N- N_2O para IPF, P e E (Figura 3.8) foram maiores na estação A, em comparação a estação B. Siqueira Neto et al. (2011), em bioma Cerrado, ao avaliarem as emissões de N_2O em pastagem com *U. decumbens*, constataram que o aumento da compactação do solo, pode favorecer a diminuição da difusão aeróbia e aumentar a emissão de gases.

Na estação B, houve uma redução considerável dos acumulados de N- N_2O em IPF, P e E, corroborando com Soares et al. (2016) que afirmaram que em Latossolos Vermelhos bem drenáveis ocorre a diminuição das condições anaeróbias no processo de desnitrificação. Para Braz et al. (2013), em solos argilosos cultivados com pastagens, ocorre o maior acúmulo de matéria orgânica com alta relação C:N, aumentando o estoque de C no solo de degradação lenta. Assim, sob ausência de umidade do solo, esse material é decomposto de forma gradual e lenta, evidenciando os menores acúmulos de N na estação B.

Uma alternativa para diminuir as emissões de N_2O em sistemas de produção agrícola, é o uso de plantas de cobertura selecionadas, diversificação de espécies vegetais e técnicas de fertilização, evitando a perda de N no solo (SHELTON et al., 2018). O uso de fertilizantes de liberação lenta de N, pode ser uma alternativa na redução da perda de N_2O para atmosfera (DUNCAN et al., 2018).

3.6.4 Correlação entre Variáveis Solo-Clima e FN_2O

Nos sistemas ILF e L os fluxos de N_2O tiveram correlação positiva eventos de precipitação e TI (Tabela 3.1). Guardia et al. (2018) constataram a

existência de sazonalidade nos fluxos de N_2O afetados pela precipitação e em épocas secas pela produção excedente de $N-N_2O$ devido a diminuição da eficiência do uso do fertilizante. Em solos tropicais, o efeito da sazonalidade das estações climáticas sob as emissões de N_2O foram verificados também nos estudos de Siqueira Neto et al. (2011) e Lessa et al. (2014).

A presença de água e calor no sistema auxiliou no aumento da produção de N_2O , juntamente com o revolvimento do solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica dos resíduos da aveia preta, e também de nódulos e parte aérea da soja. A temperatura do solo apresenta forte influência nas emissões de N_2O por interferir em funções básicas dos microrganismos.

Duval et al. (2018) afirmam ser necessário compreender o fluxo e a produção de N_2O no solo devido as interações de curto prazo entre os substratos de nitrogênio (alimento para os microrganismos), água no solo, temperatura e crescimento das plantas.

O aumento do fluxo de N_2O em IPF ocorreu com aumento do %EPPA, observado também por Lai et al. (2017), em área sob cultivo de gramíneas. Duncan et al. (2018) em região de clima temperado afirmaram que o %EPPA e a temperatura do solo possuem correlação com os limites superiores dos fluxos de N_2O .

Já em P, os fluxos apresentaram correlação positiva com eventos de precipitação. Para Shelton et al. (2018) épocas em que ocorrem o aumento nos teores de umidade no solo, induzem a desnitrificação, o que segundo Yuan et al. (2018), ocorre devido as fontes de N serem utilizadas como substratos para o processo e também na nitrificação dos microrganismos.

Vários são os fatores que possuem influência na produção de N_2O do solo o que dificulta a correlação direta dos fluxos de N_2O sob condições de campo (DUNCAN et al., 2018). Assim é necessário o uso de recursos que auxiliem em uma gestão adequada do sistema de produção agrícola aumentando a eficiência na ciclagem de N (KRISTOF et al., 2018).

3.7 CONCLUSÃO

- O componente arbóreo não possui influência sob as emissões de N_2O .
- Os maiores fluxos de N_2O estão relacionados as operações de preparo do solo, fertilização nitrogenada, aporte de restos culturais com baixa relação C:N.

- As emissões de N₂O são menores em períodos de baixa temperatura e umidade do solo.
- Os sistemas com *U. brizantha* proporcionaram menores emissões de N₂O do que o sistema com produção exclusiva de eucalipto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo adequado dos sistemas de integração e exclusivos de produção agrícola pode auxiliar na redução ou na produção de N_2O em menor escala, de forma homogênea e em maior espaço de tempo.

A ciclagem de N nos sistemas de produção agrícola é dependente do equilíbrio encontrado nestes agroecossistemas que vão direcionar a perdas ou ganhos de N através de veículos condutores como água, temperatura e a cultura presente no sistema.

Uma sugestão para estudos futuros é a avaliação direta dos componentes arboréos presentes em sistemas integrados visando a obtenção de respostas mais específicas da eficiência da integração agroecossistêmica na redução de GEE.

REFERENCIAS

AGUIAR, L., AMARO, V. Possíveis efeitos das mudanças climáticas no litoral oriental do RN. **Revista Ceres**, v.1, n.2, 2015.

ALMEIDA, R.F., NAVES, E.R., SILVEIRA, C.H., WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: uma revisão. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v.8, n.2, p.441-461, 2015.

ALVARENGA, R.C., GONTIJO NETO, M.M. Integração Lavoura-pecuária-floresta. 2011. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/876712/1/Ramon1.pdf>. Acesso em 01 de julho de 2017.

ALVARENGA, R.C., PORFIRIO-DA-SILVA, V., GONTIJO NETO, M.M. Sistema de Integração Lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, v.31, n.257, p. 59-67, Belo Horizonte, 2010.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p.711-728, 2014.

ALVES, B.J.R., MADARI, B.E., BODDEY, R.M. Integrated crop-livestock-forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.108, n.1. p.1-4, maio-2017.

ALVES, B.J.R., SMITH, K.A., FLORES, R.A., CARDOSO, A.S., OLIVEIRA, W.R.D., JANTALIA, C.P., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.46, p. 129-135, 2012.

ASSIS, P.C., STONE, L.F., MEDEIROS, J.C., MADARI, B.E., OLIVEIRA, J.M., WRUCK, F.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, 2015.

BALBINO, L.C., CORDEIRO, L.A.M., PORFIRIO-DA-SILVA, V., MORAES, A., MARTINEZ, G.B., ALVARENGA, R.C., et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, 2011.

BATES, D., MAECHLER, M., BOLKER, B., WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v.67, n.1, p.1-48, 2015.

BEHLING, M., WRUCK, F.J., ANTONIO, D.B.A., MENEGUCI, J.L.P., PEDREIRO, B.C., CORNEVALLI, R.A., CORDEIRO, L.A.M., GIL, J., FORIAS NETO, A.L.F., et al. Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF). Boletim de Pesquisa Agropecuária de soja 2013/2014. Fundação MT, 2014.

BEHNKE, G.D., PITTELKOW, C.M., NAFZIGER, E.D., VILLAMIL, M.B. Exploring the relationship between greenhouse gas emissions, yields, and soil properties in cropping systems. **Agriculture**, Switzerland, v.8, n.5, art. n. 62, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. PNMC. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.html. Acesso em 01 de julho de 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. Plano ABC. 176p. 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Adoção e mitigação de Gases de Efeitos Estufa pelas tecnologias do Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (Plano ABC). 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numeros/arquivos/ResumodaadoomitigaodegasesdeefeitosestufapelastecnologiasdoPlanoABCPerodo2010a2018nov.pdf>. Acesso em 26 de dezembro de 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 4ª edição. 2017. Disponível em: http://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_4ed.pdf. Acesso em 10 de agosto de 2018.

BRASIL. Observatório ABC. Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira. Uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do plano ABC de 2012 a 2023. Relatório 5, ano 2, julho-2015, 114p. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=8563&biblioteca=vazio&busca=plano%20abc&qFacets=plano%20abc&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

BRAZ, S.P., URQUIAGA, S., ALVES, B.J.R., JANTALIA, C.P., GUIMARÃES, A.P., SANTOS, C.A., SANTOS, S.C., PINHEIRO, E.M., BODDEY, R. Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded Brachiaria Pastures in the Brazilian Cerrado. **Science Society of America Journal**, v.77, n.3, p.914-928, 2013.

BULLER, L.S., BERGIER, I., ORTEGA, E., MORAES, A., BAYMA-SILVA, G., ZANETTI, M.R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop-livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 137, p.206-219, julho-2015.

CARDOSO, A.N., SAMINEZ, T.C., VARGAS, M.A. Fluxo de gases traço de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos de Cerrado. 23 p. Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2001.

CARDOSO, A.S., BERNDT, A., LEYTEM, A., ALVES, B.J.R., DE CARVALHO, I.D.N.O., DE BARROS SOARES, L.H., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v.143, p.86-96, 2016.

CARVALHO, A.M., OLIVEIRA, W.R.D., RAMOS, M.L.G., COSER, T.R., OLIVEIRA, A.D., PULROLNIK, K., SOUZA, K.W., VILELA, L., MARCHÃO, R.L. Soil N₂O fluxes integrated production systems, continuous pasture and cerrado. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.108 p.69-83, maio-2017.

CARVALHO, J.L.N., RAUCCI, G.S., FRAZÃO, L.A., CERRI, C.E., BERNOUX, M., CERRI, C.C. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.183, p.167-175, 2014.

COSTA, F.S., GOMES, J., BAYER, C., MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.693-700, 2006.

CHADWICK, D.R., CARDENAS, L., MISSELBROOK, T.H., SMITH, K.A, REES, R.M., WATSON, C.J., MCGEOUGH, K.L., WILLIAMS, J.R., CLOY, J.M., THORMAN, R.E., DHANOA, M.S. Optimizing chamber methods for measuring nitrous oxide emissions from plot-based agricultural experiments. **European Journal of Soil Science**, v.65, p.295-307, 2014.

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

CIAIS, P.C., SABINE, G., BALA, L., BOPP, V., BROVKIN, J., CANADELL, A., CHHABRA, R., DEFRIES, J., GALLOWAY, M., HEIMANN, C., JONES, C., LE QUÉRÉ, R.B., MYNENI, S., THORNTON, P. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: Acesso em 10 de agosto de 2018.

CORDEIRO, L.A.M., ASSAD, E.D., FRANCHINI, J.C., SÁ, J.C.M., LANDERS, J.N., AMADO, T.J.C., RODRIGUES, R.A.R. et al. O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono. 75 p. Brasília, Embrapa, FEBRAPDP, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/o-aquecimento-global-e-a-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono.pdf>. Acesso em 10 de Agosto de 2018.

CORDEIRO, L.A.M., MARCHÃO, R.L., KLUTHCOUSKI, J., MARTHA JÚNIOR. Integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.

CÔRREA, R.S. **Fluxos de N₂O em sistema integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado: comparação entre a câmara estática e o método fluxo-gradiente**. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 2014.

DUNCAN, D.S., OATES, L.G., GELFAND, I., MILLAR, N., ROBERTSON, G.P., JACKSON, R.D. Environmental factors function as constraints on soil nitrous oxide fluxes in bioenergy feedstock cropping systems. **GCB Bioenergy**, Article in Press, 2018.

DUVAL, B.D., GHIMIRE, R., HARTMAN, M.D., MARSALIS, M.A. Water and nitrogen management effects on semiarid sorghum production and soil trace gas flux under future climate. **Plos One**, v.13, n.4, art. n.e0195782, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 212p. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FANG, Q.X., MA, L., HALVORSON, A.D., MALONE, R.W., AHUJA, L.R., DEL GROSSO, S.J. Evaluating four nitrous oxide emission algorithms in response to N rate on an irrigated corn field. **Environmental Modelling & Software**, v.72, p.56–70, 2015.

FERNANDES, K.L., RIBON, A.A., TAVARES FILHO, J., CUSTODIO, G.D., BARROS, L.R. Influência do tempo de manejo na modelagem da curva de resistência de diferentes usos e manejo de pastagens e mata nativa. **Revista Árvore**, v. 40, n.3, 2016.

FRANCHINI, J.C., BALBINOT JUNIOR, A.A., SICHIERI, F.R., DEBIASI, H., CONTE, O. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.5, p.1006-1013, 2014.

FRANCHINI, J.C., CRISPINO, C.C., SOUZA, R.A., TORRES, E., HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.92, n.1-2, p.18-29, 2007.

GERMON, A., JOURDAN, C., CHAPUIS-LARDY, L., NOUVELLON, Y., ROBIN, A., ROSOLEM, C.A., GONÇALVES, J.L.M., GUERRINI, I.A., LACLAU, J.P. CO₂, CH₄ and N₂O concentrations in soil profiles down to 16m in Brazilian Eucalypt plantations. In: Functional Ecology Conference, Montpellier, France, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315912478_CO2_CH4_and_N2O_concentrations_in_soil_profiles_down_to_16_m_in_Brazilian_Eucalypt_plantations. Acesso em 26 de dezembro de 2018.

GIACOMINI, S.J., JANTALIA, C.P., AITA, C., URQUIAGA, S.S. Emissão de óxido nítrico com aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p. 1653-1661, 2006.

GILLETTE, K., MA, L., MALONE, R.W., FANG, Q.X., HALVORSON, A.D., HATFIELD, J.L., AHUJA, L.R. Simulating N₂O emissions under different tillage systems of irrigated corn using RZ-SHAW model. **Soil & Tillage Research**, v.165, p.268-278, 2017.

GRACE, P., VAN DER WEERDEN, T.J., KELLY, K., REES, R.M., SKIBA, U.M. Automated Greenhouse Gas Measurement in the field. In: KLEIN, C.A.M., HARVEY, M.J. Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines. **Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases**, Nova Zelândia, v. 1.1, 146p, 2015. Disponível em: <https://globalresearchalliance.org/wp-content/uploads/2018/06/Nitrous-Oxide-Chamber-Methodology-Guidelines-July-2015.pdf>. Acesso em 08 de Dezembro de 2018.

GRAVE, R.A., NICOLOSO, R.S., CASSOL, P.C., HIGARASHI, M.M., ANTONIAZZI, A., VIEIRA, R. Emissão de óxido nitroso de um Nitossolo sob adubação orgânica e sistemas de preparo do solo. Anais... In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis, SC, 2013.

GROVER, S.P.P., LIVESLEY, S.J., HUTLEY, L.B., JAMALI, H., FEST, B., BERINGER, J., BUTTEBACH-BAHL, K., ARNDT, S.K. Land use change and the impact on greenhouse gas exchange in north Australian savanna soils. **Biogeosciences**, v.9, p.423-437, 2013.

GUARDIA, G., SANZ-COBENA, A., SANCHEZ-MARTÍN, L., FUERTES MENDIZÁBAL, T., GONZÁLEZ-MURUA, C., ÁLVAREZ, J.M., CHADWICK, D., VALLEJO, A. Urea-based fertilization strategies to reduce yield-scaled N oxides and enhance bread-making quality in a rainfed Mediterranean wheat crop. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n.265, p.421-431, 2018.

HARRISON, J.A. The nitrogen cycle of microbes and Men. 2008. 6p. Visionlearning. Earth cycles. Disponível em: <<https://www.visionlearning.com/en/library/Earth-Science/6/The-Nitrogen-Cycle/98>>. Acesso em 27 de Agosto de 2018.

HENSEN, A., SKIBA, U., FAMULARI, D. Low cost and state of the art methods to measure nitrous oxide emissions. **Environmental Research Letters**, v.8, n.2, p.1-10, 2013.

HOLDER, A.J., MCCALMONT, J.P., ROWE, R., MCNAMARA, N.P., ELIAS, D., DONNISON, I.S. Soil N₂O emissions with different reduced tillage methods during the establishment of Miscanthus in temperate grassland. GCB **Bioenergy**, Article in Press, 2018.

HUTCHINSON, G.L., MOSIER, A.R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.311–316, 1981.

IAPAR. Clima Londrina, PR. 2016. Disponível em:< http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.html> . Acesso em 01 de Julho de 2017.

IPCC. Intergovernmental Panel on climate change. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

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

JONES, S.K., FAMULARI, D., DI MARCO, C.F., NEMITZ, E., SKIBA, U.M, REES, R.M., SUTTON, M.A. Nitrous oxide emissions from managed grassland: a comparison of eddy covariance and static chamber measurements. **Atmospheric Measurement Techniques**, v.4, p.2179-2194, 2011.

KLEIN, C.A.M., HARVEY, M.J. Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines. **Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases**, Nova Zelândia, v. 1.1, 146p, 2015. Disponível em: <https://globalresearchalliance.org/wp-content/uploads/2018/06/Nitrous-Oxide-Chamber-Methodology-Guidelines-July-2015.pdf>. Acesso em 08 de Dezembro de 2018.

KRISTOF, K., ŠIMA, T., NOZDROVICKÝ, L., JOBBÁGY, J., JAN MAREČEK, J., SLANÝ, V. Application of nitrogen fertilizers and its effect on timeliness of fertilizers decomposition resulting in lost of nitrogen through nitrous oxide emissions from soil. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v.66, p.691-700, 2018.

LAI, L., OH HONG, C., KUMAR, S., OSBORNE, S.L., LEHMAN, R.M., OWENS, V.N. Soil nitrogen dynamics in switchgrass seeded to a marginal cropland in South Dakota. **GCB Bioenergy**, v.10, n.1, p.28-38, 2017.

LESSA, A.C.R., MADARI, B.E., PAREDES, D.S., BODDEY, R.M., URQUIAGA, S., JANTALIA, C.P., ALVES, B.J.R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, p. 104-111, 2014.

LESSA, A.C.R., PAREDES, D.S., MADARI, B.E., ALVES, B.J.R. Perdas de N de excretas bovinas através das emissões de N₂O e volatilização de NH₃ em Latossolo sob pastagem no Cerrado. Embrapa Agrobiologia, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/877642/emissoes-de-n2o-e-volatilizacao-de-nh3-de-excretas-bovinas-em-latossolo-sob-pastagem-no-cerrado>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

LOURENÇO, K.S., DIMITROV, M.R., PIJL, A., SOARES, J.R., DO CARMO, J.B., VAN VEEN, J.A., CANTARELLA, H., KURAMAE, E.E. Dominance of bacterial ammonium oxidizers and fungal denitrifiers in the complex nitrogen cycle pathways related to nitrous oxide emission. **GCB Bioenergy**, v.10, n.9 p.645-660, 2018.

METAY, A., OLIVER, R., SCOPEL, E., DOUZET, J.M., MOREIRA, J.A., MARAUX, F., FEIGL, B.J., FELLER, C. N₂O and CH₄ emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). **Geoderma**, v.141, p.78-88, 2007.

MING, A., YANG, Y., LIU, S., WANG, H., LI, Y., LI, H., NONG, Y., CAI, D., JIA, H., TAO, Y., SUN, D. Effects of near natural forest management on soil greenhouse gas

flux in *Pinus massoniana* (Lamb.) and *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. plantations. **Forests**, v.9, n.5, art. n.229, 2018.

MONTEIRO, R.C. **Emissões de N₂O em diferentes sucessões de cultura em dois sistemas de preparo do solo para produção de soja**. 50 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

NOGUEIRA, A.K.S., RODRIGUES, R.A.R., SILVA, J.J.N., BOTIN, A.A., SILVEIRA, J.G. MOMBACH, M.A., et. al. Fluxos de óxido nitroso em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p. 1156-1162, 2016.

OLIVEIRA, F.L., CABACINHA, C.D., SANTOS L.D.T., BARROSO, D.G., SANTOS JUNIOR, A., BRANT, M.C., SAMPAIO, R.A. Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Cerne**, v. 21, n.2, 2015.

OLIVEIRA, W.R.D., CARVALHO, A.M., SOUZA, K.W., OLIVEIRA, A.D., BRAGA, L.M., PINHEIRO, L.A., PASSOS, L., PULROLNIK, K., RAMOS, M.L. Emissão de N₂O em solo cultivado com soja em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Integração Lavoura-Pecuária (iLP). **Anais...** In: Fertbio 2012, Maceió, Alagoas, setembro-2012.

PEREIRA, L.G.R., VOLTOLINI, T.V., MORAES, S.A., ARAGÃO, A.S.L., BRANDÃO, L.G.N., CHIZZOTTI, M.L., et al. Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF: Sistema de integração fruticultura pecuária. **Anais...** In: II Simpósio de Produção Animal do Vale do São Francisco, 2009.

PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3, p.1-137, R Core Team (2018). Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.

PIVA, J.T., DIECKOW, J., BAYER, C., ZANATTA, J.A., MORAES, A., PAULETTI, V., TOMAZI, M., PERGHER, M. No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferralsol. **Plant and Soil**, v.361, p.359-373, dezembro-2012.

RODRIGUES, R.A.R., MELLO, W.Z. Fluxos de óxido nitroso em solos com cobertura de Floresta Ombrófila Densa Montana na serra dos órgãos, Rio de Janeiro. **Química Nova**, v.35, n.8, São Paulo, 2012.

RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., 2016. Boston, MA Disponível em: <http://www.rstudio.com/>.

RUGGIERI, A.C., CARDOSO, A.S. Balanço de carbono em sistemas de produção animal: fontes de emissão e opções de mitigação. **Anais...** In: XXV Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, v.25, p.1-2, 2017.

SALTON, J.C., MERCANTE, F.M., TOMAZI, M., ZANATTA, J.A., CONCENÇO, G., SILVA, W.M., RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil:

Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, p.70-79, 2014.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., ARAUJO FILHO, J.C., OLIVEIRA, J.B., CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. rev., 353p., Brasília, 2018.

SATO, J.H., CARVALHO, A.M., FIGUEIREDO, C.C., COSER, T.R., VILELA, L., MARCHÃO, R.L. Nitrous oxide fluxes in a Brazilian clayey Oxisol after 24 years of integrated crop–livestock management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, n.55, jan/2017.

SHELTON, R.E., JACOBSEN, K.L., MCCULLEY, R.L. Cover crops and fertilization alter nitrogen loss in organic and conventional conservation agriculture systems. **Frontiers in Plant Science**, v.8, art. n. 2260, 2018.

SIGNOR, D., PISSIONI, L.L.M., CERRI, C.E.P. Emissões de gases de efeito estufa pela deposição de palha de cana-de-açúcar sobre o solo. **Revista Brasileira de Agricultura, Silvicultura e Engenharia de Alimentos**, v. 73, n.2, Campinas, 2014.

SIQUEIRA NETO, M., PICCOLO, M.C., COSTA JUNIOR, C., CERRI, C.C., BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.63-76, 2011.

SOARES, J.R., CASSMAN, N.A., KIELAK, A.M.; PIJ, A., CARMO, J.B., LOURENÇO, K.S., LAANBROEK, H.J., CANTARELLA, H., KURAMAE, E.E. Nitrous oxide related to ammonia-oxidizing bacteria and mitigation options from N fertilization in a tropical soil. **Scientific Reports**, v.6, 2016.

SOUSA NETO, E.R. **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**. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

TIAN, H., CHEN, G., LU, C., XU, X., REN, W., ZHANG, B., BANGER, K., TAO, B., PAN, S., LIU, M., ZHANG, C., BRUHWILER, L., WOFYSY, S. Global methane and nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems due to multiple environmental changes. **Ecosystem Health and Sustainability**, v.1, p.1-4, 2015.

USSIRI, D.A.N., JARECKI, R.L. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. **Soil & Tillage Research**, v.104, p.247-255, 2009.

VIEIRA, R.F. Ciclo do Nitrogênio em sistemas agrícolas. 163.p. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

WMO. World Meteorological Organization. Statement on the state of the global climate in 2017. n.1212. 40p. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453. Acesso em 10 de agosto de 2018.

YAMAGUCHI, T., VARGAS, M.A.T., LUCHIARI JUNIOR, A., KOSUGE, N. Attempts to measure N₂O using a Brazilian made chromatograph. 1994. In: CÔRREA, R.S. Fluxos de N₂O em sistema integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado: comparação entre a câmara estática e o método fluxo-gradiente. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 2014.

YUAN, M., GREER, K.D., NAFZIGER, E.D., VILLAMIL, M.B., PITTELKOW, C.M. Soil N₂O emissions as affected by long-term residue removal and no-till practices in continuous corn. **GCB Bioenergy**, Article in Press, 2018.

ANEXO

Tabela 6.1 – Histórico dos sistemas de cultivo na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Soja. Safra 2010/11 a 2018. Londrina, PR.

SAFRA	SISTEMAS						
	EUCALIPTO	PECUÁRIA	IPF		LAVOURA	ILF	
2010/2011 2011	<i>E. grandis</i>	Milho APC	Milho APC	+ <i>E. grandis</i>	Milho APC	Milho APC	+ <i>E. grandis</i>
2011/2012 2012	<i>E. grandis</i>	Soja Trigo	Soja Trigo	+ <i>E. grandis</i>	Soja Trigo	Soja Trigo	+ <i>E. grandis</i>
2012/2013 2013	<i>E. grandis</i>	Milho <i>U. brizantha</i>	Milho <i>U. brizantha</i>	+ <i>E. grandis</i>	Milho Trigo	Milho Trigo	+ <i>E. grandis</i>
2013/2014 2014	<i>E. grandis</i>	<i>U. brizantha</i>	<i>U. brizantha</i> + <i>E. grandis</i>		Milho Trigo	Milho Trigo	+ <i>E. grandis</i>
2014/2015 2015	<i>E. grandis</i>	<i>U. brizantha</i>	<i>U. brizantha</i> + <i>E. grandis</i>		Soja Trigo	Soja Trigo	+ <i>E. grandis</i>
2015/2016 2016	<i>E. grandis</i>	<i>U. brizantha</i>	<i>U. brizantha</i> + <i>E. grandis</i>		Soja APC	Soja APC	+ <i>E. grandis</i>
2016/2017 2017	<i>E. grandis</i>	<i>U. brizantha</i>	<i>U. brizantha</i> + <i>E. grandis</i>		Soja APC	Soja APC	+ <i>E. grandis</i>
2017/2018 2018	<i>E. grandis</i>	<i>U. brizantha</i>	<i>U. brizantha</i> + <i>E. grandis</i>		Soja Milho	Soja Milho	+ <i>E. grandis</i>

Tabela 6.2 – Disposição das câmaras estáticas manuais nos sistemas de ILF e Lavoura. Safra 2017/18 e 2018. Londrina, PR.

Sistema	DATA	EVENTO
L e ILF	29/09/2017	Preparo Mínimo do solo
	29/09/2017	Mudança de base
	15/10/2017	Semeadura soja
	04/03/2017	Colheita soja
	04/03/2017	Mudança de base
	12/03/2018	NPK 32-00-00 (160 kg ha ⁻¹)
	14/03/2018	Semeadura milho
	14/03/2018	NPK 14-34-00 (200 kg ha ⁻¹)
	19/03/2018	Mudança de base
	04/09/2018	Colheita milho

Tabela 6.3 - Teste de ajuste de modelo para os fluxos de N₂O de sistemas (Integração Lavoura-Floresta, Lavoura, Integração Pecuária-Floresta, Pecuária e Eucalipto), tempos de avaliação e para a interação entre sistemas *versus* tempo.

Estação A - A				
ILF e L	¹ GL	² DGL	F	p-valor
Intercepto	1	450	552,89	<0,0
Sistema	1	10	0,26	0,2
Tempo	45	450	35,34	<0,0**
S×T	45	450	4,25	<0,0**
Estação B - B				
ILF e L	¹ GL	² DGL	F	p-valor
Intercepto	1	330	56,75	<0,0
Sistema	1	10	1,05	0,3
Tempo	33	330	16,52	<0,0**
S×T	33	330	3,63	<0,0**
Estação A - C				
ILF, P e E	¹ GL	² DGL	F	p-valor
Intercepto	1	750	193,19	<0,0
Sistema	2	15	3,48	<0,1
Tempo	50	750	51,16	<0,0**
S×T	100	750	5,72	<0,0**
Estação B - D				
ILF, P e E	¹ GL	² DGL	F	p-valor
Intercepto	1	405	84,63	<0,0
Sistema	2	15	29,59	<0,0**
Tempo	27	405	8,53	<0,0**
S×T	54	405	3,45	0,0**

**Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ¹graus de liberdade do numerador e ²graus de liberdade denominador.