

LUCIANO GOMES TIMÓTEO

FLUXOS DE N2O E NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROSSILVIPASTORIS NO PLANALTO DO BRASIL CENTRAL

LUCIANO GOMES TIMÓTEO

FLUXOS DE N₂O E NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROSSILVIPASTORIS NO PLANALTO DO BRASIL CENTRAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientadora: Dra. Arminda Moreira de

Carvalho

Co-orientadora: Dra. Gabriela Bielefeld

Nardoto

FICHA CATALOGRÁFICA

Timóteo, Luciano Gomes

Fluxos de N_2O e nitrogênio mineral no solo em sistemas de produção agrossilvipastoris no Planalto do Brasil Central / Luciano Gomes Timóteo. Planaltina – DF, 2015. 52 f

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Arminda Moreira de Carvalho.

1. Óxido Nitroso 2. SIPA 3. Cerrado. I. Timóteo, Luciano. II. Título.

LUCIANO GOMES TIMÓTEO

FLUXOS DE N2O E NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROSSILVIPASTORIS NO PLANALTO DO BRASIL CENTRAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 04 de Dezembro de 2015.

Dra. Arminda Moreira de Carvalho - EMBRAPA CERRADOS

(Orientadora)

Profa Dra. Thais Rodrigues Coser-UnB/FAV

(Examinadora)

Dr^a. Maria Regina Silveira Sartori da Silva – UnB/ECL

(Examinadora)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial a minha mãe Dulciana Gomes Timóteo, que sempre me inspirou e me deu forças para continuar minha jornada.

Determinação coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho." (Dalai Lama)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre me iluminou e esteve presente em cada momento de minha caminhada.

Agradeço à minha orientadora Dr^a Arminda Moreira de Carvalho pelo apoio imprescindível a este trabalho e pela confiança em minha capacidade para desenvolvê-lo; pelas oportunidades que me proporcionou, e por todo conhecimento adquirido durante o período que estive sob sua orientação, minha eterna gratidão. À minha co-orientadora Dr^a Gabriela Bielefeld Nardoto, pelas sugestões pontuais e precisas e por todo o apoio

Aos doutores Thaís Rodrigues Coser, Kleberson de Souza e Willian Oliveira, doutorandos Ray Alves, Juliana Sato, Fabiana Ribeiro, e ao mestre Juaci Vitória Malaquias, por todo o apoio e ajuda que dedicaram ao andamento e conclusão do meu trabalho e toda a pesquisa que o envolve.

A Universidade de Brasília e a Faculdade UnB de Planaltina pelo apoio ao longo do curso e pelos conhecimentos adquiridos. A Embrapa Cerrados por todo apoio ao desenvolvimento da pesquisa e pelo estágio que cumpri na instituição.

Aos amigos de curso Thais, Suellen, Fernanda, Rosângela, Camila, Rafael, Vander, Vanessa, Valquíria, Mábia, Cristiane e aos demais, que estiveram ao meu lado durante todo esse período, dividindo as rotinas de aulas, relatórios, provas, anseios e conquistas durante estes anos

Aos meus colegas e amigos de estágio, Arthur, Áurea, Odenilza, Juliana, Laura, Luana, Luciane, Barbara, Munique, Eduardo, Leticia, Thayane e a todos aqueles, que prestaram total apoio e esforço para desenvolvimento do meu trabalho. E a todos aqueles que de alguma forma participaram de toda a minha formação acadêmica e ajudaram diretamente ou indiretamente para o andamento e conclusão deste trabalho.

Agradeço à minha família pelo apoio e compreensão ao longo destes anos, em especial a minha mãe Dulciana Gomes Timóteo. A meu irmão de coração, Adalberto Chaves pelo apoio e incentivo dedicados a mim na minha chegada em Brasília e início do curso. Aos grandes amigos Mariana, Eduardo, Wallacy, Aglice, Felipe, Rogério e Helena, companheiros de vida em Brasília, pelos momentos compartilhados em toda a jornada

Enfim, agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para que este trabalho se realizasse.

RESUMO

O N₂O, dentre os gases de efeito estufa, é o que possui maior importância para o setor agropecuário devido às suas emissões estarem relacionadas com a disponibilidade e dinâmica de nitrogênio (N) do solo nos agroecossistemas. Com o uso crescente de sistemas integrados de produção, a avaliação dos efeitos desses sistemas nas mudanças climáticas globais e dos fatores que influenciam na emissão de N₂O devem ser amplamente estudados e debatidos. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar os fluxos de N₂O e os teores de nitrogênio mineral em solo e sob Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Sistema Agroflorestal (SAF), cerradão e pastagem de baixa produtividade, correlacionando-os com os fatores edafoclimáticos: precipitação pluviométrica, temperatura e umidade do solo, espaço poroso saturado por água (EPSA) e teores de N mineral no solo (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻). As coletas de N₂O e de solo foram realizadas considerando-se os períodos de sazonalidade do Cerrado: Transição chuva-seca (TCS), Seca (SE), Transição seca-chuva (TSC) e Chuva (CH), em Planaltina, DF, totalizando quatro períodos de coletas. O solo foi coletado no intervalo de profundidade de 0-10 cm e analisado para N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ colorimetricamente em um Lachat Quikchem FIA 8500, série 2. Câmaras estáticas fechadas foram utilizadas para amostragem e as concentrações de N2O foram determinadas por cromatografia gasosa. Os teores médios de N-NH₄⁺ (1,63 a 19,75 mg.kg⁻¹) foram maiores que os teores médios de N-NO₃- (0,46 a 8,14 mg.kg⁻¹); no entanto o cerradão e o SAF apresentaram uma relação NH₄+/NO₃- maior que o ILP e o ILPF. Os fluxos de N₂O foram maiores no ILP e ILPF com 0,19 e 0,11 kg ha⁻¹ em 111 dias respectivamente. O cerradão e a Pastagem resultaram em menores emissões. As maiores emissões foram observadas nos períodos de transição chuva-seca e chuva enquanto as menores emissões foram verificadas no período de seca. O EPSA, Precipitação Pluviométrica e Umidade do solo e do ar apresentaram relação significativa e positiva com N₂O, reforçando a relação direta que essas co-variáveis apresentam com os fluxos de N₂O. O nitrogênio na forma amoniacal (N-NH₄⁺) predomina no solo em relação a forma nítrica (N-NO₃-); O cerradão e o SAF apresentam uma relação NH₄⁺/NO₃⁻ maior que o ILP e o ILPF; e as maiores correlações significativas de N₂O acumulado são estabelecidas com EPSA em todo período e nos períodos de chuva-seca e de chuva.

PALAVRAS-CHAVES: Cerrado, nitrato, amônio, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; Integração Lavoura-Pecuária; Sistema Agroflorestal.

ABSTRACT

The N₂O, among greenhouse gases, is what has greater importance for the agricultural sector due to its emissions are related to the dynamics and availability of nitrogen (N) of soil in agricultural ecosystems. With the increasing use of integrated production systems, the assessment of the effects of these systems on global climate change and the factors that influence N₂O emissions should be widely studied and debated. In this sense, the objective of this study was to evaluate N₂O fluxes and the availability of mineral nitrogen in soil and under Crop-Livestock System (CLS), Crop-Livestock-Forest System (CLFS), Agroforestry System (AFS), Cerrado and pasture low productivity, correlating them with edaphoclimatic factors: rainfall, temperature and soil moisture, pore space saturated by water (EPSA) and availability of N-Mineral (N-NH₄⁺ and N-NO₃⁻). The collections of N₂O and soil were carried out considering the Cerrado seasonal periods: rainy-dry transition (RDT), Dry (DR), dry rain Transition (DRT) and Rain (RA), in Planaltina, DF, totaling four periods of collections. The soil was collected in the depth range of 0-10 cm and analyzed for N-NH₄⁺ and N-NO₃⁻. colorimetrically in a Lachat Quikchem FIA 8500 series 2. In the samples of N₂O, they used a static closed chambers and N₂O concentrations were determined by gas chromatography. The average levels of N-NH₄⁺ (1.63 to 19.75 mg ha⁻¹) were higher than the average levels of N-NO₃⁻ (0.46 to 8.14 mg ha⁻¹), however the cerrado and the AFS have a relationship NH₄⁺/NO₃⁻, greater than the CLS and the CLFS. The N₂O fluxes were higher in the CLS and CLFS with 0.19 and 0.11 kg. ha⁻¹ at 111 days respectively; the Cerrado and pasture had lower emissions. The largest emissions were observed in periods of transition Rain-Dry and Rain while lower emissions were found in Dry period. The EPSA, Rainfall and Soil moisture and air, showed positive statistical significance in relation to N₂O, strengthening the direct relationship that these covariates present with the N₂O fluxes. The nitrogen in ammonium form (N-NH₄⁺) predominates in the soil in relation to nitrate form (N-NO₃-); The Cerrado and the AFS have a relationship NH₄⁺/NO₃⁻ greater than the CLS and the CLFS; and the highest significant correlations accumulated N₂O are established EPSA in every period and during the rainy-dry and rain.

KEYWORDS: Cerrado, nitrate, ammonium, Integration Crop-Livestock-Forest; Crop-Livestock Integration; Agroforestry System.

SUMÁRIO

RESUN	MO	6
ABSTI	RACT	7
LISTA	DE FIGURAS	9
LISTA	DE TABELAS	10
LISTA	DE ABREVIAÇÕES	11
1 IN	TRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1	1.1 Objetivo Geral	14
1.1	1.2 Objetivos Específicos	14
1.2	HIPÓTESES	14
2 RE	EFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Uso do solo no bioma cerrado e mudança climática global	14
2.2	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária	18
2.3	Ciclagem de Nitrogênio em sistemas de produção agropecuária	20
3 M.	ATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	ÀREAS DE ESTUDO	23
3.1	1.1 ILP, ILPF, cerradão e pastagem de baixa produtividade	23
3.1	1.2 SAF	25
3.2	COLETA DE DADOS	26
3.2	2.1 DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO MINERAL	27
3.2	2.2 FLUXOS DE N ₂ O NO SOLO	28
3.2	2.3 DADOS CLIMÁTICOS	29
3.2	2.4 ANALISES ESTATÍSTICAS	30
4 RE	ESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Precipitação pluviométrica, EPSA, Temperaturas do ar e do solo	31
4.2	N-Mineral no solo (N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻)	33
4.3	Fluxos de N ₂ O Acumulado	37
4.4	correlação entre Fluxo de n2o e variáveis de solo e clima	39
5 CC	ONCLUSÕES	42
6 BI	BLIOGRAFIA	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo conceitual sobre a produção de N_2O no solo e variáveis relacionadas. Fonte:
(ALVES et al., 2012)
Figura 2. Localização do Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF (área 1, delimitada em vermelho);
SAF estudado (área 2, delimitada em verde).Fonte: (ALVES, 2012)25
Figura 3. Temperatura média do ar em cada tratamento e épocas, Planaltina-DF31
Figura 4. Precipitação acumulada mensal durante os períodos de 2013 a 2015, e temperatura
do ar média mensal, Estação Metereológica da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF32
Figura 5. Espaço poroso saturado por água em cada tratamento e épocas, Planaltina-DF32 $$
Figura 6. Médias e desvio padrão de $N-NH_4^+$. A seta vermelha indica fertilização nos sistemas
ILP e ILPF. Letras minúsculas comparam os tratamentos para cada época nas, a 5% de
probabilidade (p \leq 0,05) pelo teste Kruskal-Wallis.
Figura 7. Médias e desvio padrão de N-NO ₃ A seta vermelha indica fertilização nos sistemas
ILP e ILPF. Letras minúsculas comparam os tratamentos para cada época nas, a 5% de
probabilidade (p \leq 0,05) pelo teste Kruskal-Wallis36
Figura 8. Médias e desvio padrão dos Fluxos de N_2O Acumulado. A seta vermelha indica
fertilização nos sistemas ILP e ILPF. Letras minúsculas comparam os tratamentos para cada
época, a 5% de probabilidade (p≤0,05) pelo teste Kruskal-Wallis

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do solo da área do experimento de ILPF nas camadas de 0
cm a 20 cm e 20 cm a 40 cm de profundidade
Tabela 2. Culturas agrícolas cultivadas no sistema de ILPF de 2009 a 201124
Tabela 3. Características físico-químicas do solo estudado no Sistema Agroflorestal do Sítio
Dagrofloresta, na região administrativa de Planaltina – DF
Tabela 4. Datas de coletas por períodos e tratamentos
Tabela 5. Unidade de medida para N_2O Acumulado
Tabela 6. Relação NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ , para os sistemas avaliados
Tabela 7. Total de fluxo de N_2O acumulado em $kg.ha^{-1}$ em 111 dias
Tabela 8. Coeficientes da correlação de Pearson representando a relação entre a emissão de
N ₂ O e variáveis do solo e clima, para as épocas avaliadas

LISTA DE ABREVIAÇÕES

CER - cerradão

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

CH – Chuva

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPSA – Espaço Poroso Saturado com Água

ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

ILP – Integração Lavoura-Pecuária

GEE – Gases do Efeito Estufa

PAST-Pastagem

TCS – Transição Chuva-Seca

TSC – Transição Seca-Chuva

SAF – Sistema Agroflorestal

SE-Seca

SIPA – Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

SPD – Sistema Plantio Direto

1 INTRODUÇÃO

Na América do Sul e Central, África, Índia e Austrália pode-se encontrar extensas áreas de savanas e que estão entre os domínios que apresentam maior sazonalidade climática com estações bem definidas (FROST et al., 1986). O bioma Cerrado que representa a savana brasileira é importante por sua abrangência, em que ocupa 204 milhões de hectares (CARVALHO, 2005) e por sua biodiversidade apresentando aproximadamente 30% da biodiversidade brasileira e 5% da fauna e flora do mundo, além de dar suporte à nascentes que compõem importantes bacias hidrográficas brasileiras - Amazonas, Paraguai, Paraná, Parnaíba, São Francisco e Tocantins (LIMA & SILVA, 2005).

A partir da década de 60 interferências antrópicas começaram a mudar a cobertura, uso e ocupação do Cerrado, principalmente pela transferência da capital brasileira ao Planalto Central juntamente com inovações tecnológicas associadas a intensas políticas de incentivo agrícola (IBAMA, 2009), fazendo do Cerrado a maior fronteira agrícola brasileira nas décadas 70 e 80 (MAROUELLI, 2003). Na década de 1990 intensos incentivos e políticas comerciais e agropecuárias favoreciam o desenvolvimento e expansão de fronteiras agropecuárias no Brasil, como o Cerrado (HELFAND; RESENDE, 2003), mudando de maneira brusca a abrangência do bioma, onde MITTERMEIER et al., 1999 observaram que 67% do Cerrado compunham áreas altamente modificadas e apenas 20% encontravam-se em seu estado natural. Logo em seguida MITTERMEIER et al., 2000 estimaram que 20% da região do Cerrado permanecem inalteradas e somente 1,2% é preservado em áreas protegidas. Desde então toda sua estrutura e funcionamento tem sido modificada por conta de intensas expansões agropecuárias e urbanização.

Sendo assim, sistemas de produção intensivos, com utilização de altas doses de pesticidas e fertilizantes e uma mecanização intensa objetivando-se a alta produção agropecuária caracterizam de forma clássica a ocupação do Cerrado (CARVALHO, 2005). A utilização de implementos agrícolas e máquinas de preparo do solo resulta em prejuízos a estrutura e potencial de produção dos solos, como destruição dos seus componentes, erosão e compactação (KER et al., 1992; RESENDE et al., 1992).

Neste contexto tornou-se necessário buscar sistemas agropecuários produtivos, economicamente viáveis, intensos e ao mesmo tempo sustentáveis (ALVARENGA, 2008). Sistemas de manejo mistos de exploração de lavoura e pecuária que envolvem a diversificação, rotação, consorciação com sucessão de atividades agropecuárias e uso de

recursos florestais planejados harmonicamente constituindo um mesmo sistema, chamados de ILP (Integração Lavoura Pecuária) e ILPF (Integração Lavoura Pecuária Floresta) são considerados uma grande inovação nesse contexto de sistemas agropecuários sustentáveis, possibilitando uma exploração intensa, econômica e sustentável do solo durante o ano todo, favorecendo uma produção diversificada a custos mais baixos e maximizando a troca de energia entre os sistemas (ALVARENGA et al., 2009; ALVARENGA, 2008).

Outra mudança de paradigma em relação às práticas agrícolas são os Sistemas Agroflorestais (SAFs) que representam práticas conservacionistas entre sistemas consorciados, biodiversos e sucessionais em que cada consórcio cria e oferece condições para um próximo sistema de associação/consórcio. Nesse agroecossistema, maneja-se componentes arbóreos com um conjunto de culturas agrícolas e/ou pastagens, sendo capaz de elevar os níveis de produtividade de pequenos produtores, melhorando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo, além de ter a capacidade de manter as condições do solo próximas as naturais, a partir do aumento da diversidade de espécies cultivadas (NAIR, 1993; CARDOSO, 2005; ALVES, 2012; HOFFMANN, 2013).

Dentre os gases de efeito estufa, o óxido nitroso (N₂O), é o que possui maior importância para o setor agropecuário devido às suas emissões estarem relacionadas com a dinâmica e disponibilidade de nitrogênio (N) no solo, às altas precipitações, umidade e temperatura do solo em agroecossistemas. O N₂O é produzido naturalmente nos solos por meio dos processos de nitrificação e desnitrificação. A nitrificação é favorecida pela presença de NH₄⁺, por condições adequadas de aeração do solo e pela maior ciclagem de nitrogênio no sistema. A desnitrificação é o processo dominante na produção do N₂O e ocorre em condições de baixa aeração do solo. O nitrato (NO₃⁻), por sua vez, pode se acumular no solo quando produzido além da demanda de microrganismos e plantas, potencializando reações de desnitrificação, favorecendo e estimulando, assim, a produção de N₂O (CARVALHO et al., 2006)

A partir de tais informações faz-se necessários estudos que apresentem e analisem o uso, capacidades, estruturas, funções e impactos (positivos ou negativos) de tais atividades agrossilvipastoris na emissão de Gases do Efeito Estufa, a fim de qualificar sistemas de manejo que otimizem a produção, resguardando a biodiversidade e os recursos naturais para as futuras gerações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar fluxos de N₂O no solo correlacionando com a concentração mineral do nitrogênio de áreas de produção agrossilvipastoris, em estações de seca e chuva no Cerrado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar o fluxo de oxido nitroso (N₂O) nas áreas em estações de seca e chuva no Cerrado;
- Avaliar a concentração mineral de nitrogênio inorgânico disponível no solo nas formas de nitrato e amônio em estações de seca e chuva no Cerrado;
- c) Correlacionar fluxos de N₂O com a mineralização de nitrogênio inorgânico disponível no solo em estações de seca e chuva no Cerrado;

1.2 HIPÓTESES

- O SAF possui as maiores concentrações de N inorgânico na forma de amônio, e consequentemente, menores emissões de N₂O quando comparado aos sistemas de manejo integrado;
- O solo sob pastagem resultará em menores fluxos de N₂O pela pobreza em N, e consequentemente, baixa ciclagem do Nitrogênio, e disponibilidade desse nutriente eliminado pelas perdas quando comparado com os demais sistemas de produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 USO DO SOLO NO BIOMA CERRADO E MUDANÇA CLIMÁTICA GLOBAL

O Cerrado é apresentado como o segundo maior bioma brasileiro em extensão, além de ser considerado a maior savana de biodiversidade do mundo, com alto potencial agrícola, sendo indispensável a adoção de técnicas de manejo e conservação que proporcionem a maximização do aproveitamento dos recursos, otimizando a produção com resguardo a biodiversidade e recursos naturais para as futuras gerações (CARVALHO & AMABILE, 2006).

O principal uso da terra se dá por meio de intensas atividades antrópicas que modificam sua estrutura tornando a paisagem mais fragmentada (CARVALHO & AMABILE, 2006). Nos últimos 30 anos vem ocorrendo acentuadas explorações, em que se destacam as

atividades agropecuárias. Neste contexto, MACHADO et al., 2004 utilizou imagens do satélite MODIS de 2002 para caracterizar a ocupação do Cerrado brasileiro, onde concluiu que 55% do Cerrado já foi desmatado ou transformado pela ação humana e um grande contribuidor para essa situação é a atividade agrícola, destacando-se o plantio de monoculturas como a soja. E no Distrito Federal as perdas de cobertura vegetal natural estão em torno de 60% (CARVALHO & AMABILE, 2006).

As grandes transformações ocorridas no Cerrado resultaram em enormes danos ambientais, como fragmentação de hábitats, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e possivelmente modificações climáticas regionais (BEUCHLE et al 2015).

O setor agropecuário brasileiro contribui com cerca de 22% das emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE's), porém se for adicionado as emissões oriundas das mudanças de uso da terra, esse percentual sobe para cerca de 80% (BRASIL, 2009). De acordo com esse cenário o Brasil passa a ser o quinto maior emissor de GEE's e o maior desafio a esta situação será o desenvolvimento de mecanismos de mitigação. BUSTAMANTE et al.,2002, realizaram um levantamento da emissão de GEE's pela pecuária brasileira entre 2003 e 2008, em que se destacou como fontes emissoras o desmatamento para estabelecimento de pastagens e posterior queima da vegetação derrubada, queima do pasto e fermentação entérica bovina, estimando ainda que a pecuária é responsável por aproximadamente metade de todas as emissões brasileiras.

De forma geral, a questão sobre mudanças climáticas globais e o papel dos gases do efeito estufa foram mais discutidos amplamente na década de 1990 e início da década de 2000, quando se quantificou os aumentos significativos nas concentrações atmosféricas de gás carbônico (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), resultantes de atividades antrópicas (LAL, 2004). Considerando ainda o percentual de 22% do setor agrícola brasileiro e que as mudanças no uso e manejo do solo podem causar alterações no ciclo do carbono, o papel da agropecuária pode ser ainda maior (CERRI et al., 2006) neste contexto de mudanças climáticas globais. Em termos globais, SMITH et al.,2007, estimaram que 60% das emissões de N₂O são oriundas da agricultura, principalmente, pela utilização intensiva de fertilizantes, revolvimento do solo e incorporação de resíduos vegetais.

O N₂O é um gás traço reconhecido por seu papel no aquecimento global, em que sua molécula tem um potencial de aquecimento equivalente a 310 vezes o da molécula de dióxido

de carbono (CO₂) (UNFCCC, 2005), e meia-vida na atmosfera estimada em 120 anos (IPCC, 1995), por essas características, está entre os gases mais importantes de efeito estufa.

Os óxidos de nitrogênio são produtos das reações de nitrificação e desnitrificação (Figura 1). A nitrificação produz relativamente mais NO do que N₂O, e a desnitrificação é o processo dominante na produção de N₂O (DAVIDSON et al., 1993). A nitrificação é favorecida pela presença de NH₄⁺, por condições adequadas de aeração do solo e pela maior ciclagem de nitrogênio no sistema (DAVIDSON et al., 2000).

O pH do solo também é uma variável importante, pois os teores da nitrificação aumentam com a diminuição da acidez do solo. Bactérias nitrificadoras como Nitrosomonas e Nitrosospira são os principais gêneros que oxidam NH₄⁺ a NO₂⁻, e Nitrobacter, o principal gênero responsável pela segunda etapa do processo, que tem como produto o NO₃⁻. Esses organismos são favorecidos por condições de pH superiores a 5, o que é comum em áreas agrícolas, normalmente sob aplicações de calcário. Solos bem drenados favorecem a nitrificação por ser um processo aeróbico, porém a umidade e temperatura são fatores importantes para otimizá-lo (PAUL & CLARK, 1996).

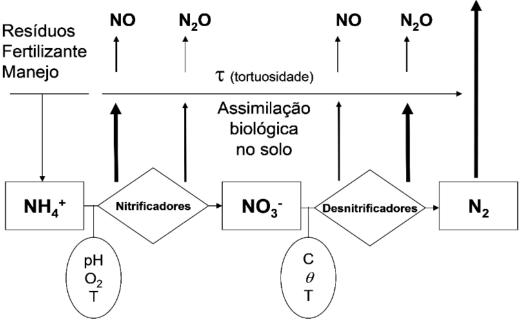


Figura 1. Modelo conceitual sobre a produção de N₂O no solo e variáveis relacionadas. Fonte: (ALVES et al., 2012)

O nitrato (NO₃-) pode se acumular no solo quando produzido além da demanda de microrganismos e plantas, potencializando as reações de desnitrificação (MATSON et al., 1999). A umidade do solo, ou o seu grau de saturação, é fundamental nesse processo, tal como foi demonstrado por LINN & DORAN (1984). O processo de desnitrificação depende da difusão do O₂ da atmosfera para dentro do solo, e sempre que a difusão é restringida e o O₂

existente é consumido, formam-se os sítios anaeróbicos no solo. Dessa forma, a proporção dos gases que escapa durante o processo de desnitrificação também vai depender do caminho que terão que percorrer até chegar à superfície, ou da tortuosidade do solo. Nas condições em que o solo está altamente saturado com água, próximo a 80% do volume de poros, e a tortuosidade é elevada, diminuem as chances de fluxos de NO do solo, sendo N₂O e N₂ as formas predominantes emitidas para a atmosfera. Essa situação se inverte claramente quando a saturação dos poros com água é baixa, normalmente inferior a 50% (DAVIDSON et al., 1993; DOBBIE et al., 1999). A temperatura também é variável essencial nas emissões de N₂O do solo, pois se houver um aumento ou decaimento de temperatura, haverá influência nos microrganismos (WERTZ et al., 2013). Para muitos processos biológicos, se observam valores de Q10 (fator de aumento da velocidade de uma reação em função de um aumento de 10°C na temperatura) da ordem de 2 a 3, sendo esta faixa mais larga para a produção de N₂O no solo (DOBBIE et al., 1999; SKIBA & SMITH, 2000), o que indica que pequenas variações de temperatura têm grandes efeitos nas emissões desse gás.

Resultados sobre as emissões de N₂O de solos agrícolas no Brasil começaram a ser publicados recentemente, a maioria de áreas sobre Latossolos das regiões Sul e Centro-Oeste (CARVALHO, 2005; METAY et al., 2007; JANTALIA et al., 2008), sugerindo que as emissões são relativamente mais baixas do que as observadas em solos de regiões temperadas. Nos Latossolos da região do Cerrado, determinaram-se emissões de NO mais relevantes do que as de N₂O (CARVALHO et al., 2006).

Em relação a emissão de N₂O em sistemas agroflorestais, percebeu-se que a literatura científica possui uma deficiência e que os poucos trabalhos existentes relatam a emissão correlacionada com a adição de resíduos agroflorestais, o que influência diretamente os fluxos, não cobrindo com exatidão a emissão do sistema como um todo. MILLAR & BAGGS, 2004 e 2005 relatam um experimento ambientalmente controlado com aplicação de resíduos agroflorestais, em que as maiores emissões foram registradas alguns dias após a aplicação desses resíduos, correlacionando com a quantidade de C e N solúveis, onde observou-se que a adição dos resíduos ofereceu substrato para o desenvolvimento da nitrificação e desnitrificação, indicando um aumento da atividade microbiana e favorecendo a produção de N₂O. BAGGS et al., 2006 desenvolveram uma experiência de curto prazo em monitoraram os efeitos da prática do plantio direto e qualidade do resíduo sobre as emissões de N₂O, CO₂ e CH₄, determinadas em um sistema agroflorestal de pousio melhorado no oeste do Quênia.

2.2 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

FAO (2010), afirma que os modelos de produção atuais não estão alinhados aos desafios da futura produção de alimentos, que deve ser, obrigatoriamente segura e sustentável. Deste modo, o surgimento de novos modelos de produção se fazem necessários para o avanço da agricultura, pois deve-se mudar a forma de produzir alimentos através do uso de tecnologias mais equilibradas e em harmonia com as novas exigências de comprometimento ambiental. É neste cenário que surgem os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), que são caracterizados por serem planejados para explorar sinergismos e propriedades emergentes, frutos de interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera de áreas que integram atividades de produção agrícola e pecuária (MORAES et al., 2012).

Os SIPA, foram reconhecidos recentemente como uma alternativa para intensificação sustentável (FAO, 2010), pois reúne vários atributos raros em sistemas de produção de alimentos. Ele faz um uso mais eficiente dos recursos naturais (WRIGHT et al., 2011); promove ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (SALTON et al., 2014); reduz os custos de produção (RYSCHAWY et al., 2012), mantendo níveis de produtividade elevados (BALBINOT JR et al., 2009); e ainda produz inúmeros serviços ecossistêmicos (SANDERSON et al., 2013).

No Brasil, os sistemas mais conhecidos são: integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e sistema agroflorestal (SAF). Nesses sistemas pode ocorrer associações entre pecuária de corte ou leite e cultivos como soja, milho, arroz, algodão, eucalipto, árvores frutíferas ou para corte da madeira, dentre outros; são interações planejadas em diferentes escalas espaço-temporais, abrangendo a exploração de cultivos agrícolas (grãos, floresta etc.) e produção animal (ruminantes e monogástricos) na mesma área, de forma concomitante ou sequencial, e mesmo entre áreas distintas.

A integração lavoura-pecuária pode ser definida como a diversificação, rotação, consorciação e/ou sucessão das atividades de agricultura e de pecuária dentro da propriedade rural de forma harmônica, constituindo um mesmo sistema sinérgico em que há benefícios para ambas (ALVARENGA, 2005). É utilizada desde a década de 1960, onde produtores utilizavam o consórcio entre arroz de terras altas com espécies de *Brachiaria*, para tornar o uso das terras mais eficiente e reduzir os custos na formação das pastagens no cerrado (KLUTHCOUSKI & YOKOYAMA, 2003). Já na região central do país, os primeiros trabalhos de pesquisa com sistemas de ILP iniciaram-se em 1986, na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, culminando na implantação, em 1990, de um experimento de longa duração,

com objetivo de estudar diferentes sistemas de ILP. Alvarenga & Noce, 2005, afirmam que o sistema possibilita, como uma das principais vantagens, o uso do solo durante todo o ano ou, na maior parte dele, favorecendo o aumento na oferta de grãos, de carne e de leite a um custo mais baixo devido ao sinergismo que se cria entre a lavoura e a pastagem, além de haver diminuição da utilização de agroquímicos para o controle de pragas e doenças e manutenção da atividade biológica do solo.

Para um maior rendimento e diversificação da produção, surge o conceito de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que envolve sistemas produtivos diversificados (que contemplam a produção de alimentos, fibras, energia, produtos madeireiros e não madeireiros), de origem vegetal e animal, realizados para otimizar os ciclos biológicos das plantas e dos animais, bem como dos insumos e seus respectivos resíduos (BALBINO et al.,2011). Macedo (2009) cita alguns trabalhos realizados na Austrália e no Uruguai, em que a adoção do ILP por 29 anos aumentou a produtividade de trigo, nas áreas onde sempre houve plantio de pastagens, além de recuperar as propriedades físicas do solo. Gontijo Neto et al., 2014, apresentam resultados de pesquisas recentes em que comprovam os pontos positivos do ILPF, discutindo aspectos relacionados à produção integrada de culturas anuais, como milho, soja, feijão, arroz, sorgo e milheto, com espécies florestais e forrageiras, em que visavam à produção dos grãos, manutenção da oferta de alimento para o gado, por período maior, e produção de madeira.

Os sistemas agroflorestais (SAF's) são uma pratica milenar tanto na Ásia como na América Latina, mas se desenvolveu intensamente nos anos 80 e 90 (HOFFMANN, 2013). São caracterizados como formas de uso ou manejo da terra, nas quais se combinam espécies arbóreas (frutíferas e/ou madeireiras) com cultivos agrícolas que promovem benefícios econômicos e ecológicos. Tais sistemas são capazes de alavancar níveis de produtividade das lavouras de pequenos agricultores com consequentes melhorias na qualidade da matéria orgânica do solo (CARDOSO et al., 2005).

Os SAF's relacionam vantagens econômicas, ambientais e sociais, ao consorciar espécies frutíferas, madeireiras, medicinais e forrageiras em um desenho espacial e sucessional permitindo colheitas desde o primeiro ano, relacionando culturas anuais e de ciclo curto com espécies de ciclos médios e longos (ARMANDO et al., 2003). De forma geral, os SAFs são empregados com objetivos de diversificar a produção, de forma a diminuir efeitos de sazonalidade econômica; aumentar os níveis de matéria orgânica no solo, fixação biológica

de nitrogênio atmosférico e ciclagem de nutrientes; modificar o microclima; e otimizar a produção com foco conceitual na produção sustentável (SOMARRIBA, 1992).

Os SIPA, quando estabelecidos e manejados de maneira adequada, levando-se em consideração aspectos econômicos, ambientais e sociais das propriedades rurais, assim como das regiões em que estão inseridas, pode trazer benefícios, como a diversificação da produção, incremento e melhor distribuição da renda no tempo, conservação do solo e da água, conforto térmico para animais, melhoria do valor nutricional da forragem, entre outros (FERNANDES et al., 2007).

2.3 CICLAGEM DE NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

A ciclagem de nutrientes é uma função de suma importância na regulação das atividades e desenvolvimento dos ecossistemas. Em ecossistemas naturais, diversos fatores influenciam de forma determinante a ciclagem de nutrientes e sua disponibilidade, como a fertilidade e teores de água no solo (BUSTAMANTE et al., 2004).

De forma geral os ecossistemas no Cerrado são limitados por N e os teores de sua ciclagem diferem de acordo com a densidade de cobertura lenhosa, frequência de queima, mudanças no uso da terra (BUSTAMANTE et al., 2006). A deposição atmosférica de N total em uma área de cerrado típico no Brasil central foi de aproximadamente 4 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo que a metade deste aporte foi inorgânico (RESENDE, 2001). Este valor total da deposição atmosférica é 3,4% do estoque de N na serapilheira e menos que 0,1% do N total no solo no perfil de profundidade de 0-100 cm. Resende (2001) também determinou que a quantidade de N lixiviado do dossel e acumulado na serapilheira está em torno de 5,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹, levando em consideração que este dossel lixiviado é enriquecido com N orgânico.

Para sistemas de produção animal em pastagens, nos trópicos, os esforços para compreender melhor a dinâmica desse nutriente, passaram a ser mais evidentes a partir da década de 60. Fernandes & Fernandes (1998), em um estudo comparativo sobre a dinâmica do nitrogênio no solo em áreas de cerrado e de pastagens cultivadas no Pantanal Sul Mato-Grossense, observaram menores taxas de mineralização e nitrificação líquidas no solo das áreas sob pastagem em relação ao solo das áreas sob cerrado nativo. As perdas de N por erosão e por escorrimento superficial em pastagens bem manejadas são pequenas e frequentemente não ultrapassam 5 kg ha⁻¹ de N (RUSSELLE, 1996). Um estudo com pastagens degradadas de braquiária, em solos de Cerrado, mostrou-se que somente a adição de adubo nitrogenado poderia elevar consideravelmente a produção da pastagem, o que

confirmou as suspeitas de que a perda de produção do pasto seria, principalmente, de ordem nutricional (BODDEY et al., 2000).

Os sistemas de plantio direto (SPD), associado à rotação de culturas e com uso de plantas de cobertura, são considerados outra tecnologia conservacionista. Essa técnica é caracterizada pela ausência das etapas do preparo convencional da aração e gradagem, por meio da manutenção de cobertura do solo por restos vegetais. Silva (2015), apresentou um estudo sobre a dinâmica de nitrogênio mineral em sistemas integrados de intensificação ecológica e cerrado nativo, onde observou que a aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura à cultura de milho no Sistema Plantio Direto favoreceu incrementos das formas nítrica e amoniacal no solo, mas sobretudo de nitrato, corroborando com Carvalho (2005), em que observou-se que há oscilações no nitrogênio disponível no solo devido às aplicações do fertilizante.

O uso de plantas de cobertura em consórcio ou sob sucessão aos sistemas de produção, vem se destacando cadeia de produção agropecuária e tem como um dos principais objetivos a manutenção e/ou melhoria da qualidade do solo (CARVALHO & AMABILE, 2006) visando incrementar a disponibilidade de nutrientes como N, P, K, Ca, Mg e S. Neste contexto, Carvalho et al., 2015 avaliaram os efeitos da decomposição de resíduos vegetais nos teores de N mineral no solo sob cultivo de plantas de cobertura (*Pennisetum glaucum, Brachiaria ruziziensis e Canavalia brasiliensis*) e milho (*Zea mays*) em sucessão, no início e fim da estação chuvosa em sistema plantio direto, em que observaram que os resultados obtidos no estudo indicaram que *Canavalia brasiliensis* destacou-se na ciclagem de N mineral no solo no final do período chuvoso, e que no período chuvoso, as plantas de cobertura (*Canavalia brasiliensis, Pennisetum glaucum*, e *Brachiaria ruziziensis*) propiciaram aumentos nos teores de N-NO₃- na camada de 0-10 cm em relação a vegetação espontânea, mostrando a importância de uso das mesmas para disponibilidade de N à cultura do milho em sistema plantio direto no Cerrado.

Em sistemas de ILP e ILPF, a ciclagem de nitrogênio no sistema se dá por meio de interação solo-planta, onde resíduos culturais que permanecem na superfície do solo, os quais constituem importante reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa, ou lenta e gradual, conforme a interação entre os fatores climáticos, principalmente precipitação pluvial e temperatura, atividade macro e microbiológica do solo e qualidade e quantidade do resíduo vegetal (OLIVEIRA, 2015; CARVALHO et al., 2013).

No SAF, o componente arbóreo favorece uma maior ciclagem de nutrientes, principalmente o nitrogênio, realçando a eficiência do manejo agroflorestal para a melhoria da qualidade do solo, que ocorre nesses sistemas. Alves, 2012, observou em um SAF com 10 anos, um incremento na disponibilidade de N quando comparado à fitofisionomias com predominância de estrato arbóreo no Cerrado, porém o mesmo não ocorreu com relação ao seu estoque no solo indicando que há abertura na ciclagem de N e aumento de sua ciclagem externa no sistema.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÀREAS DE ESTUDO

3.1.1 ILP, ILPF, cerradão e pastagem de baixa produtividade

Os experimentos de Integração Lavoura Pecuária (ILP) e Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) foram conduzidos na EMBRAPA CERRADOS em Planaltina – DF. O ILP e o ILPF foram implantados em 2009 em área anteriormente ocupada por uma pastagem degradada. Essa área apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 15° 36' 38,82" S e 47° 42' 13,63" W, altitude de 980 m, fazendo parte da Bacia do Alto São Bartolomeu. Possui uma estação chuvosa que se concentra nos meses de outubro a abril, com média de 1100 mm, a temperatura média é de 21,7° C e a classificação climática segundo Koppen é Aw. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho, com textura argilosa (EMBRAPA, 2013).

No ano de 2007, de acordo com a análise do solo (Tabela 1), foram aplicados em cobertura na área, as doses de 2,0 t/ha e 800 kg/ha de calcário e gesso agrícola, respectivamente, sendo essas as últimas aplicações para a correção da acidez do solo. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área do experimento de ILPF nas camadas de 0 cm a 20 cm e 20 cm a 40 cm de profundidade.

Parâmetro	Profundidade Profundidade	
rarametro	0-20 cm	20-40 cm
pH (H ₂ O)	5,55	5,47
P mg/L	0,48	0,64
K mg/L	67,24	33,44
Al cmolc/ dm ³	0,14	0,23
Ca cmolc/ dm ³	1,45	0,96
Mg cmolc/ dm ³	0,86	0,57
H+Al cmolc/ dm ³	4,41	4,41
$T \text{ cmolc/} dm^3$	6,9	6,9
V %	35,7	35,7
MO %	2,86	2,86

Fonte: (PULROLNIK et al., 2010).

A partir de janeiro de 2009, foi iniciado o cultivo de uma cultura anual juntamente com a aplicação de adubação de plantio, em sistema de plantio direto (SPD), conforme Tabela 2. Após a retirada dos cultivos, durante a estação seca, a área permaneceu em pousio até o início do próximo ano agrícola.

Tabela 2. Culturas agrícolas cultivadas no sistema de ILPF de 2009 a 2011.

Cultura	Data de semeadura	Adubação de plantio
Sorgo BRS 310	março/2009	350 kg/ha de NPK 8-20-15 e micronutrientes
Soja Baliza (RR)	dezembro/2009	400 kg de NPK 0-20-20
Soja BRS 850	novembro/2010	400 kg de NPK 0-20-20
Soja cult. Favorita	outubro/2011	1500 kg/ha de calcário e 400 kg de NPK 0-20-20

A área experimental foi implantada em fevereiro de 2012 e constou de parcelas de 1,4 ha e com delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram: área cultivada intercalada com renques de Eucalyptus urograndis, com espaçamento de 2 x 2 m entre plantas e 22 m entre renques (ILPF); e pastagem também implantada com a cultura do sorgo sob sistema de ILP, sem a presença de Eucalyptus urograndis. Usou-se também, duas áreas controle: uma área de cerradão e uma área de pastagem de baixa produtividade, ambas próximas às áreas experimentais de ILP e ILPF da Embrapa Cerrados. A área de cerradão foi escolhida para se ter a referência de uma área natural preservada, já a área de pastagem como uma referência de impacto negativo.

Em março de 2012, a soja foi colhida e, em seguida, foi iniciado a implantação de pastagem em substituição às culturas anuais, com o cultivo de Sorgo granífero BRS 330, utilizando 8 kg ha-1 de sementes viáveis, em consórcio com Brachiaria brizantha cultivar BRS piatã, que foi utilizado 5 kg ha-1 de sementes puras viáveis. As sementes de capim foram misturadas a formulação NPK 08-20-15 na dosagem de 350 kg ha-1. Após a colheita do sorgo, a pastagem formada pelo capim piatã se desenvolveu até a entrada de animais, no início da estação chuvosa, em outubro de 2012.

A área permaneceu com animais até o encerramento das coletas do experimento, em abril de 2014. Durante esse período, foram realizadas duas adubações de cobertura da pastagem: nos dias 12 e 13 de março de 2013, com a aplicação de 200 kg há-1 de ureia; e no dia 24 de fevereiro de 2014, com 130 kg ha de ureia.

3.1.2 **SAF**

A área de estudo localiza-se nas proximidades da BR-020, Km 54, em uma propriedade particular ("Sítio Dagrofloresta" - http://www.dagrofloresta.com.br) fazendo parte da região administrativa de Planaltina – DF (15°34'51" S, 47°22'42" W) (Figura 2), fazendo parte da Bacia do Alto São Bartolomeu. (ALVES, 2012).

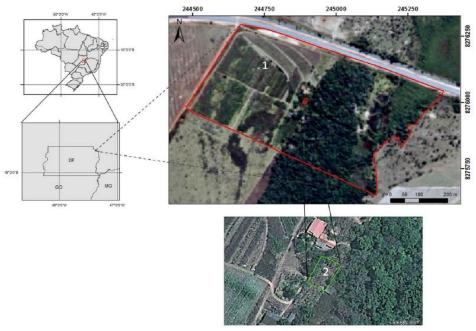


Figura 2. Localização do Sítio Dagrofloresta, Planaltina-DF (área 1, delimitada em vermelho); SAF estudado (área 2, delimitada em verde).Fonte: (ALVES, 2012)

O experimento localiza-se em uma área de Latossolo Vermelho conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 2013), com textura médio-argilosa, onde anteriormente se localizava a fitofisionomia cerradão, que se caracteriza pela grande proporção de estrato lenhoso (RIBEIRO & WALTER, 1998). Neste sistema não se aplicou fertilizantes. Na Tabela 3 são apresentadas as características físico-químicas do solo estudado. Este SAF foi classificado como sucessional biodiverso quanto à sua forma e estrutura e simultâneo em relação ao tempo, por comportar o plantio dessas espécies na mesma época. (HOFFMANN, 2005)

Tabela 3. Características físico-químicas do solo estudado no Sistema Agroflorestal do Sítio Dagrofloresta, na região administrativa de Planaltina – DF.

Parâmetro	Profundidade (0-20 cm)
Argila (%)	38.8 ± 2.0
pH em CaCl ₂	$4,4 \pm 0,3$
pH em H ₂ O	$5,4\pm0,1$
$P (mg.dm^{-3})$	15,6
K (mmolc.dm ⁻³)	3,9
Ca (mmolc.dm ⁻³)	40,8
Mg (mmolc.dm ⁻³)	11,4
H+Al (mmolc.dm ⁻³)	42,0
CTC (mmolc.dm ⁻³)	97,6
Fonta: (SHVA 2012)	

Fonte: (SILVA, 2012)

Após retirada da vegetação nativa, houve implantação de um pomar de laranja convencional. Em 2000, a área era cultivada com braquiária (*Brachiaria decumbens*), sendo manejada por capinas seletiva conjugada com leguminosas como mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiforms cv.*). O desenvolvimento do SAF estudado iniciou-se em 2001 com as medidas de 20x20 cm, onde inicialmente plantou-se por semeadura direta espécies como feijão-guandu (*Cajanus cajan*), capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e leucóina (*Leucena spp*), juntamente com espécies frutíferas como a amoreira (*Morus nigra*), madeiras de lei e nativas do Cerrado (ALVES, 2012).

De 2001 a 2006 foi feito o manejo do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) de forma mais intensa no período chuvoso por causa do incremento de biomassa neste período. A partir de 2006 as amoreiras (*Morus nigra*) e leucena (*Leucaena spp*) eram dominantes, com um extrato arbóreo bem desenvolvido promovendo a saída do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) do sistema. Nas podas, retirava-se aproximadamente 50% da biomassa destas plantas. Em 2010 começou o domínio do consórcio de ingá (*Inga sp*) até o presente momento.

3.2 COLETA DE DADOS

As coletas de solo e de N₂O foram realizadas durante um ano, considerando os períodos de sazonalidade do Cerrado: transição chuva-seca (TCS), seca (SE), transição seca-chuva (TSC) e chuva (CH), totalizando quatro períodos de coletas. Para o SAF adotou-se os períodos: TCS em março-abril/2014; SE em julho/2014; TSC em novembro/2014; CH em

janeiro-fevereiro/2015. A mesma amostragem foi feita para os sistemas de ILP, ILPF, cerradão e Pastagem selecionando os mesmos dias de coleta, ou os mais próximos, nos mesmos meses e períodos de 2013/2014 (Tabela 4).

Tabela 4. Datas de coletas por períodos e tratamentos.

Tabela 4. Datas de coletas por periodos e tratamentos.			
ÉPOCA	ILP, ILPF, CER e PAST	SAF	
	15/03/2013*	19/03/2014*	
	19/03/2013**	21/03/2014*	
	21/03/2013*	26/03/2014*	
TCS	26/03/2013**	28/03/2014*	
	01/04/2013*	03/04/2014**	
	04/04/2013*	04/04/2014*	
	09/04/2013*	07/04/2014*	
	02/07/2013**	22/07/2014**	
SE	15/07/2013*	22/07/2014*	
	29/07/2013*	24/07/2014*	
	01/11/2013*	03/11/2014*	
TSC	06/11/2013*	04/11/2014*	
150	07/11/2013*	05/11/2014*	
	08/11/2013*	06/11/2014*	
	07/01/2014*	27/01/2015*	
	17/01/2014*	28/01/2015*	
	21/01/2014*	29/01/2015*	
	30/01/2014*	30/01/2015*	
CH	17/02/2014*	02/02/2015*	
	25/02/2014*	04/02/2015*	
	26/02/2014*	05/02/2015*	
	27/02/2014*	06/02/2015*	
	28/02/2014**	10/02/2015**	

*Coleta de solo e N₂O; **Coleta apenas N₂O.

3.2.1 DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO MINERAL

Foram coletadas amostras de solo na profundidade 0-10 cm através de um trado do tipo holandês a cada período estudado. As coletas de solo, foram feitas em cinco pontos representativos próximos às cinco câmaras de gases no SAF e três para os outros sistemas. Em seguida, essas subamostras foram compostas por homogeneização, totalizando uma amostra composta por dia de coleta e por tratamento.

Para o ILP, ILPF, Pastagem e cerradão, o nitrogênio do solo nas formas de nitrato e amônio foi analisado por destilação por arraste de vapores (Embrapa, 1997). As amostras de solo foram colocadas em potes com solução extratora de KCl 1M, separando cerca de 10 g de solo, permanecendo em repouso por, pelo menos, 18 horas. Na preparação da amostra, foi

necessária a determinação do teor de umidade da amostra, que foram secas em estufa a 105° C durante 72 h, que, então, foi utilizado para a determinação da concentração de NO₃- e NH₄+. Foi pipetada uma alíquota de 10 ml da solução, colocadas em tubos de ensaio para destilação. Para a determinação de N-NH₄+, foram adicionados ao tubo de ensaio cerca de 0,25 g de óxido de magnésio e feita a destilação da amostra em destilador de arraste de vapores. O condensado foi coletado em erlenmeyer de 50 ml, contendo 10 ml de solução indicadora de ácido bórico a 2%. O volume do condensado no erlenmeyer de ácido bórico deve atingir 30 ml (mais ou menos 3 minutos de destilação). Para determinação de N-NO₃-, foi utilizada a mesma alíquota de 10 ml destilada anteriormente. A essa quantidade de extrato foi adicionada 0,25 g de liga de Devarda e feita novamente a destilação dessa solução em destilador de arraste de vapores, em novo erlenmeyer com ácido bórico, até que o volume do condensado nesse recipiente atinja 30 ml. O condensado obtido na destilação foi titulado com solução de H₂SO₄ 0,005 M, por meio de restituição de ácido bórico utilizado na formação de borato de amônio, composto que confere a cor verde-azulada à solução condensada.

Para o SAF, o nitrogênio do solo nas formas de nitrato e amônio foi analisado por análise colorimétrica. As amostras de solo (cerca de 10 g) foram colocadas em potes com 50 ml de solução extratora de KCl 1M, sendo agitadas manualmente e permanecendo em repouso por, pelo menos, 18 horas. Após esta etapa o sobrenadante foi filtrado com filtros de papel para posterior análise colorimétrica num Lachat Quikchem FIA 8500, série 2, para determinação do nitrogênio mineral no solo (N-NO₃- e N-NH₄+). Na preparação da amostra, foram determinados o teor de umidade de cada amostra, pesou-se cerca de 15 g de solo que foi seca em estufa a 105° C durante 72 h. A partir dos valores de umidade de cada área, foi calculado o Espaço Poroso Saturado com Água (EPSA %) pela seguinte fórmula:

EPSA(%) = (umidade gravimétrica(%) x densidade do solo)/ porosidade total do solo x 100;

Onde: porosidade total do solo = [1–(densidade do solo/2,65)], com 2,65 [g cm-3] sendo a densidade das partículas assumida do solo.

3.2.2 FLUXOS DE N₂O NO SOLO

A quantificação dos fluxos de N₂O foi feita utilizando-se uma câmara do tipo estática fechada. No SAF foram utilizadas cinco câmaras e três câmaras para os outros sistemas, compostas por uma base retangular de 38 cm x 58 cm de metal, inserida no solo até 5 cm de profundidade, aí permanecendo durante todo período de avaliação. No momento da

amostragem foi acoplada sobre a base de metal uma campânula plástica, com 9 cm de altura e as mesmas dimensões da base de metal. A vedação da tampa acoplada na base foi feita por meio de borracha isolante e foram presas com o auxílio de presilhas de borracha, essas campânulas foram revestidas com esponja de borracha e manta de alumínio para evitar o aquecimento no interior das câmaras durante as amostragens de N₂O. Sobre cada tampa retangular era fixada uma válvula, com abertura para acessar o conteúdo da câmara fechada, permitindo a retirada dos gases no momento da amostragem. Foram utilizadas seringas plásticas de 60 ml adaptadas com válvulas de três vias, que eram ligadas as válvulas das câmaras. Também se usou termômetros para medir as temperaturas do solo e a temperatura interna da câmara.

As amostras de ar no interior da câmara foram retiradas logo após o fechamento e após 15 e 30 minutos (T0, T15 e T30). As amostras foram armazenadas em frascos de vidro lacrados com rolhas de borracha clorobutírica. Usou-se um compressor de ar, para garantir que todos os frascos fossem evacuados no momento da amostragem com uma pressão negativa de 80 kPa. Pela válvula de três vias, localizada na tampa da câmara, foram coletados 30 ml de ar do interior da câmara e imediatamente transferidos para os frascos. Um teste para avaliar se a acumulação de N₂O nas câmaras é constante no tempo (teste de linearidade) foi feito antes de iniciar as medições (GIACOMINI et al., 2006). Após a coleta, aos 30 minutos após o fechamento das câmaras, as mesmas são reabertas. As análises das concentrações de N₂O foram realizadas no laboratório da Embrapa Cerrados, utilizando um cromatógrafo de gás (Thermo TraceGC) equipado com uma coluna empacotada com Porapak Q e um detector de captura de elétrons (CARVALHO, 2013).

Os fluxos de N_2O (FN₂O) foram calculados pela equação FN₂O = δ C/ δ t (V/A) M/Vm, onde δ C/ δ t é a mudança de concentração de N₂O na câmara no intervalo de incubação; V e A são, respectivamente, o volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara; M é o peso molecular de N₂O e Vm é o volume molecular na temperatura de amostragem (CARVALHO et al., 2013).

3.2.3 DADOS CLIMÁTICOS

Os dados de precipitação pluviométrica, temperatura média do ar e umidade relativa do ar foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa Cerrados.

3.2.4 ANALISES ESTATÍSTICAS

Foram realizadas análises descritivas dos valores de fluxos de N₂O e das variáveis de solo e clima, usando o Excel versão 2013, para gerar as médias e desvio padrão e o software Sigmaplot versão 10.0 para confecção de todos os gráficos. As emissões acumuladas foram estimadas plotando os valores médios dos fluxos de N₂O e a escala de tempo em um gráfico e calculando a área resultante sob a curva, por integração, usando o software Sigmaplot versão 10.0, as unidades de medida dos valores são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Unidade de medida para N₂O Acumulado.

	Tubela 2: Emadae de medida para 1120 Medinalado:		
	Época	Para SAF	Para CER-PAST-ILP-ILPF
•	Total	kg. ha ⁻¹ em 38 dias	kg. ha ⁻¹ em 111 dias
	TCS	kg. ha ⁻¹ em 19 dias	kg. ha ⁻¹ em 25 dias
	SE	kg. ha ⁻¹ em 2 dias	kg. ha ⁻¹ em 27 dias
	TSC	kg. ha ⁻¹ em 3 dias	kg. ha ⁻¹ em 7 dias
	CH	kg. ha ⁻¹ em 14 dias	kg. ha ⁻¹ em 52 dias

Devido ao fato de não ter sido verificado normalidade nos dados, os tratamentos foram submetidos à análise não-paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis, onde os mesmos foram comparados considerando o nível de significância de 0.05. Para realizar a correlação usou-se somente os dias em que houveram coletas de N₂O e de solo simultaneamente (Tabela 4). Foi aplicada a Correlação de Pearson entre os fluxos de N₂O e as variáveis do solo e clima, com a finalidade de identificar as variáveis que possuem correlação positiva com os fluxos podendo influenciar sua formação a partir do solo sob os sistemas integrados, pastagem e cerradão avaliados. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico SAS versão 9.2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, EPSA, TEMPERATURAS DO AR E DO SOLO

As maiores temperaturas do solo ocorreram na época de chuva e de transição chuvaseca, entre outubro e abril (Figura 3) com médias de 22,6 e 22,5 °C respectivamente, entre todos os tratamentos. A máxima registrada foi de 29,4 °C, no período de chuva, na pastagem de baixa produtividade. As menores temperaturas ocorreram na época de seca, com média de 19,9 entre todos os tratamentos, em que se observou as menores temperaturas no SAF, com 16 °C em todo o período de seca.

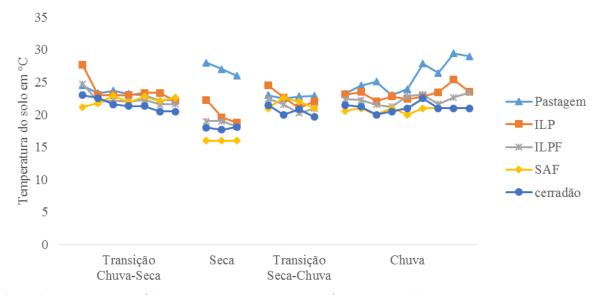


Figura 3. Temperatura média do ar em cada tratamento e épocas, Planaltina-DF.

A distribuição mensal de precipitação nos anos de 2013/2014 e 2014/2015 e a porcentagem de EPSA de cada sistema encontram-se nas Figura 4 e Figura 5 respectivamente. A precipitação pluviométrica anual média para o período 2013/2014 foi de 1417,3 mm; para o período de 2014/2015 foi de 1781,7 mm sendo que a maior parte da precipitação acontece entre outubro e abril (períodos de Chuva e Transição Seca-Chuva). Neste estudo, o regime de chuvas se apresentou bem distribuído dentre as estações do ano, se concentrando nos meses de outubro a abril (Figura 4), sendo que o maior valor de precipitação acumulada ultrapassou os 300 mm mensais em dezembro de 2014 e em março de 2014, esteve em 300mm. A temperatura do ar ficou em torno de 21°C nos dois períodos (Figura 4). A máxima registrada foi de 23,7 °C, em setembro de 2014/2015, e a menor foi registrada em julho de 2014/2015.

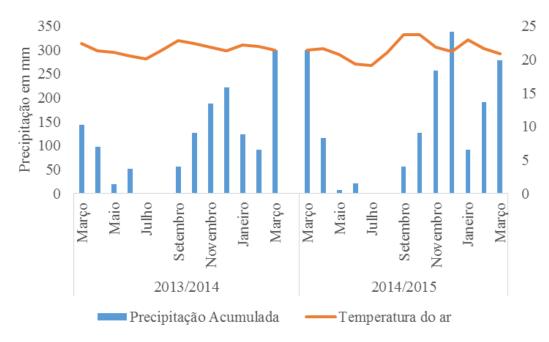


Figura 4. Precipitação acumulada mensal durante os períodos de 2013 a 2015, e temperatura do ar média mensal, Estação Metereológica da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.

Houve uma variação nos valores de EPSA em cada sistema (Figura 5), oscilando de 21,89% a 64,07% entre os sistemas avaliados. No período de Seca observou-se os menores valores (21,89% a 35,12%) e no período de Transição Chuva-Seca e Chuva, verificou-se os maiores valores, variando de 29,48% a 63,96% e 30,77% a 64,07% respectivamente. Quando a precipitação pluviométrica eleva o EPSA do solo acima de 60%, a desnitrificação se torna mais intensa, pois a difusividade do oxigênio nos agregados aliada à respiração do solo, é diminuída, aumentando as zonas de anaerobiose que favorecem a redução do NO₃-, consumindo-o e promovendo emissões mais intensas e consequentemente, picos de N₂O (DAVIDSON et al., 2000; DOBBIE & SMITH 2003).

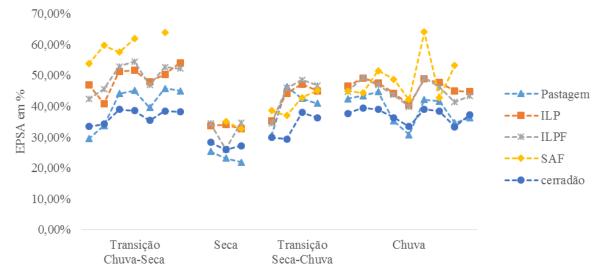


Figura 5. Espaço poroso saturado por água em cada tratamento e épocas, Planaltina-DF.

4.2 N-MINERAL NO SOLO (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻)

A disponibilidade de N-Mineral também é um fator que influencia na emissão de N₂O. As formas de N mineral sofreram variações diárias ao longo do período avaliado. A variação de total de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ foi de 0,46 a 19,75 mg.kg⁻¹ (Figura 6 e Figura 7). O teor médio de N-NH₄⁺ (1,63 a 19,75 mg.kg⁻¹) (Figura 6) foi mais elevado do que o teor de N-NO₃⁻ (0,46 a 8,14 mg.kg⁻¹) (Figura 7). Além de o N-NH₄⁺ apresentar maior média geral (9,39 mg.kg⁻¹) que o N-NO₃⁻ (2,86 mg.kg⁻¹) em todos os sistemas e épocas avaliados.

Após a aplicação de N em cobertura foi observado a elevação das concentrações de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ nos sistemas ILP e ILPF. A aplicação nesses sistemas integrados foi realizada nos dias 12 e 13 de março de 2013, sendo aplicados 200 kg ha⁻¹ de ureia, consequentemente, obtendo uma rápida resposta nos fluxos de N₂O.

A presença de N disponível, tanto nas formas orgânicas quanto minerais, incluindo o nitrato e amônio, são fontes prontamente assimiladas por plantas e microrganismos, estando intimamente relacionado com o incremento dos fluxos de N₂O do solo (BUTTERBACH-BAHL et al., 2013). Esse comportamento foi verificado por meio dos maiores valores de fluxos de N₂O quando os teores de N mineral foram maiores no solo.

Em relação ao N-NH₄⁺, a época de Transição Chuva-Seca foi a que apresentou maiores picos (Figura 6) no ILP (19,75 mg.kg⁻¹) e no ILPF (17,71 mg.kg⁻¹), e estes estão ligados a fertilização que ocorreu nessas áreas.

Na época de Seca observou-se os menores teores de N-NH₄⁺, variando de 1,63 a 8,09 mg.kg⁻¹ (Figura 6), onde não houve precipitação (Figura 4) e a quantidade de EPSA variou de 21,89% a 35,12% entre os sistemas (Figura 5). Nas épocas de Transição Chuva-Seca e Chuva houveram maiores variações do teor de N-NH₄⁺ entre os sistemas (Figura 6), oscilando de 7,43 a 19,75 mg.ha⁻¹ onde os sistemas de ILP e ILPF se destacaram nos períodos de Transição Chuva-Seca (19,75 e 17,71 mg.ha⁻¹) e Chuva (14,66 e 12,94 mg.ha⁻¹) respectivamente. Neste estudo, os sistemas em que houveram maior produção média de N-NH₄⁺ foram ILP com 11,34 mg.ha⁻¹; ILPF com 11,25 mg.ha⁻¹; seguido do SAF com 9,11 mg.ha⁻¹; do cerradão com 8,16 mg.ha⁻¹, e da pastagem com 7,11 mg.ha⁻¹. Esse predomínio de amônio pode ser explicado pelo fato de os solos de Cerrado serem bastante aerados, oferecendo condições para a nitrificação, de forma que as reações de transformação de NH₄⁺ ocorrem com mais frequência.

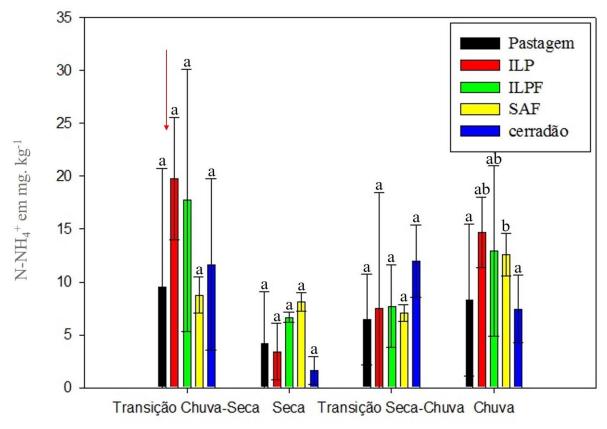


Figura 6. Médias e desvio padrão de N-NH4⁺. A seta vermelha indica fertilização nos sistemas ILP e ILPF. Letras minúsculas comparam os tratamentos para cada época nas, a 5% de probabilidade (p≤0,05) pelo teste Kruskal-Wallis.

O período de Chuva (Figura 6) foi o que mostrou diferenças significativas a 5% de probabilidade (p≤0,05) pelo teste Kruskal-Wallis entre os tratamentos. Nesse período se observou maior precipitação pluviométrica, assim como maiores variações de EPSA nos sistemas avaliados. As maiores produções de N-NH₄⁺ no solo sob usos de ILP e ILPF em comparação com o cerradão ocorreram após a aplicação de fertilizantes nesses sistemas.

Neste estudo, o N-NH₄⁺ se mostrou predominante em relação ao N-NO₃⁻, em todas as áreas avaliadas (Figura 6). Possivelmente, esses teores foram maiores para o nitrogênio na forma amoniacal devido a um maior aporte de MOS disponibilizado nesses ambientes por um maior período, favorecendo a atividade microbiana e processos como mineralização de N na forma de NH₄⁺.

No SAF, apesar da variação na concentração, a forma disponível predominante de N-inorgânico foi N-NH₄⁺ em todos os períodos amostrados, mesmo padrão encontrado em estudos recentes sobre dinâmica de N em áreas de cerrado *sensu stricto* (NARDOTO & BUSTAMANTE, 2003). Este predomínio de NH₄⁺, de forma geral, revela baixas emissões de N₂O (DAVIDSON et al., 2000; PINTO et al., 2006) para esses sistemas.

Os valores de nitrogênio mineral na forma de nitrato (N-NO₃⁻) obtidos estão associados à presença de chuva (Figura 4), correspondendo aos maiores teores (Figura 7) e indicando maior atividade microbiológica na nitrificação. Os teores de N-NO₃⁻ seguiu os mesmos padrões de produção de N-NH₄⁺ nas épocas, mas em menores quantidades. Observou-se maiores picos de produção de N-NO₃⁻ na época de Transição Chuva-Seca nos sistemas de ILPF e ILP com 8,14 e 7,93 mg.kg⁻¹ respectivamente (Figura 7), esses maiores valores estão relacionados a fertilização que ocorreu nessa época nesses sistemas e às maiores precipitações.

Na época de seca observou-se os menores teores de N-NO₃⁻ variando de 0,46 a 2,34 mg.kg⁻¹ e o sistema que apresentou menor produção de N-NO₃⁻ nessa época, foi o ILPF (Figura 7), onde não houve precipitação e os valores de EPSA foram consideravelmente baixos (Figura 5). Em níveis muito baixos de umidade do solo, a taxa de dissolução de fontes nitrogenadas se torna mais lenta, reduzindo a disponibilidade de N-NH₄⁺ em solução (CAMERON, 2013) e consequentemente a disponibilidade de N-NO₃⁻. Essa redução de N-NH₄⁺ no solo, associada com temperaturas muito baixas ou muito altas, diminuem a atividade de bactérias nitrificantes, principalmente *Nitrobacter*, que consequentemente, diminuirá a concentração de NO₃⁻ disponível (BAGGS & PHILIPPOT, 2010; WERTZ et al., 2013).

No período de Transição Chuva-Seca os valores de N-NO₃⁻ foram maiores nos sistemas de ILP e ILPF em relação aos outros sistemas. Este fato explica-se pela adubação que ocorreu apenas no de ILP e ILPF e nessa época (Figura 7). Nas épocas de Transição Seca-Chuva e Chuva, houve uma maior variação de diferenciação estatística entre os sistemas, podendo estar relacionadas a diferentes condições edafoclimáticas de cada sistema. As baixas concentrações de NO₃⁻ em relação à NH₄⁺ podem ser relacionadas à baixa densidade de bactérias nitrificantes, pela inibição da nitrificação, ou por condições de baixa disponibilidade de O₂ do solo (NARDOTO & BUSTAMENTE, 2003), assim como temperaturas muito baixas ou muito altas (WERTZ et al., 2013).

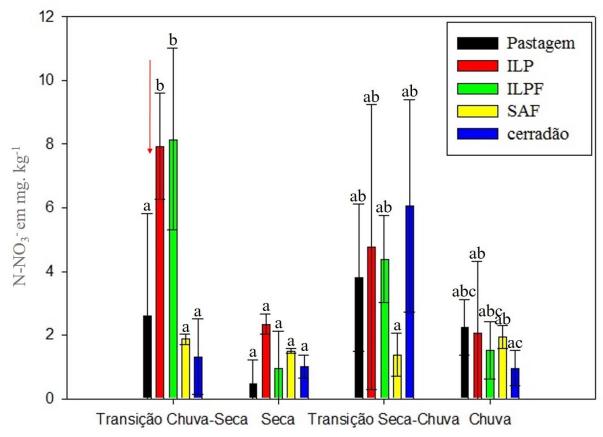


Figura 7. Médias e desvio padrão de N-NO₃. A seta vermelha indica fertilização nos sistemas ILP e ILPF. Letras minúsculas comparam os tratamentos para cada época nas, a 5% de probabilidade (p≤0,05) pelo teste Kruskal-Wallis.

Na Tabela 6 são apresentados os valores da relação NH₄⁺/NO₃⁻ para os sistemas avaliados. O SAF (5,44) e o cerradão (3,49) apresentaram maior relação amônio/nitrato. Os solos de Cerrado são bastante aerados, oferecendo condições de predominância da nitrificação sobre a desnitrificação, de forma que as reações de consumo de NH₄⁺ ocorrem com mais frequência (CARVALHO, 2005; PINTO et al., 2006). O ILP (2,64) e o ILPF (3,00) apresentaram menor valor de relação NH₄⁺/NO₃⁻ refletindo nos maiores valores de emissão de N₂O para os períodos avaliados (Tabela 8 e Figura 8).

Tabela 6. Relação NH₄+/NO₃-, para os sistemas avaliados.

Sistemas	Relação NH ₄ +/NO ₃ -			
Pastagem	3,12			
ILP	2,64			
ILPF	3,00			
SAF	5,44			
cerradão	3,49			

4.3 FLUXOS DE N₂O ACUMULADO

A variação temporal de N-N₂O acumulado durante o estudo foi caracterizada por média de fluxos que variaram entre -0,04 kg.ha⁻¹ em 27 dias e 0,55 kg.ha⁻¹em 25 dias, considerando todos os tratamentos e estações (Figura 8). Observou-se um pico de emissão de N₂O na época de Transição Chuva-Seca nos sistemas ILP e ILPF, sendo observados logo após a fertilização de cobertura que ocorreu nessa época, em que foi realizada com ureia em dosagem única, indicada pela seta vermelha na Figura 8. A aplicação de N em cobertura influenciou a emissão de N₂O, além de elevar os teores de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ no solo dos dois sistemas, corroborando com Carvalho et al. (2010), em que compararam diferentes fontes nitrogenadas, verificando maiores fluxos de N₂O com o uso de ureia como fonte de nitrogênio.

Os menores valores foram observados na época de seca em que não houve precipitação (Figura 4) e a quantidade de EPSA média foi de 29,33% (Figura 5). Neste período observouse valores negativos, no cerradão e no ILPF, e por isso foi atribuído valor 0 para esses casos. Valores de N-N₂O abaixo de 0 também foram observados por Carvalho et al., (2006), em que se avaliou emissões de NO e N₂O até cinco dias após a primeira fertilização de cobertura com uréia em milho, em um Latossolo Vermelho argiloso distrófico, sob plantio convencional e direto, em que os fluxos de N₂O ficaram abaixo do limite de detecção de 0,6 ng N cm⁻² h⁻¹. Resultados semelhantes também foram obtidos para solos de Cerrado, sob boas condições de aeração, como o Latossolo Vermelho (PINTO et al., 2002; VARELLA et al., 2004).

Na época de Transição Seca-Chuva a emissão acumulada de N-N₂O foi baixa, variando de 0,005 kg.ha⁻¹ em 7 dias a 0,032 kg.ha⁻¹ em 3 dias. Observa-se na época de Chuva que os sistemas de ILP e SAF foram os que mais emitiram apresentando 0,124 kg.ha⁻¹ em 52 dias e 0,114 kg.ha⁻¹ em 14 dias, respectivamente. Os maiores picos de emissão entre os sistemas foram no período de Transição Seca-Chuva no ILP e ILPF, com 0,55 e 0,43 kg.ha⁻¹ em 7 dias respectivamente.

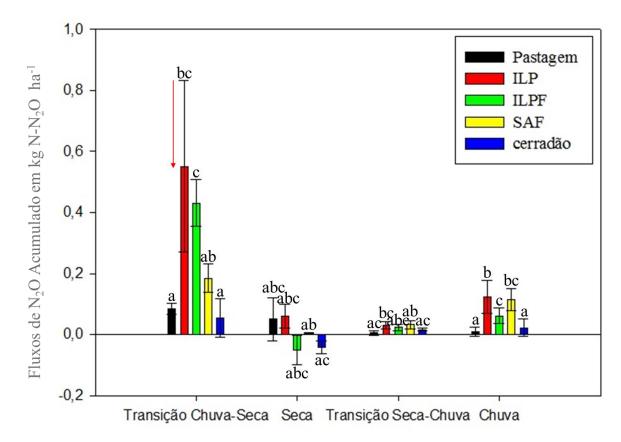


Figura 8. Médias e desvio padrão dos Fluxos de N_2O Acumulado. A seta vermelha indica fertilização nos sistemas ILP e ILPF. Letras minúsculas comparam os tratamentos para cada época, a 5% de probabilidade ($p\le0,05$) pelo teste Kruskal-Wallis.

A Tabela 7 apresenta o total do fluxo de N₂O acumulado em 111 dias. De modo geral, o sistema que mais emitiu N₂O, no acumulado do período avaliado, foi o SAF totalizando 0,97 kg N-N₂O ha⁻¹ em 111 dias; seguido do ILP com 0,76 kg N-N₂O ha⁻¹ em 111 dias; ILPF com 0,46 kg N-N₂O ha⁻¹ em 111 dias; Pastagem com 0,15 kg N-N₂O ha⁻¹ em 111 dias e cerradão com 0,05 kg N-N₂O ha⁻¹ em 111 dias. Pergher, 2014, observou padrão parecido em um estudo conduzido em Ponta Grossa no Paraná avaliou o potencial de redução de emissão de oxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄) a partir do solo sob ILP e ILPF, onde observou que a emissão acumulada de N₂O no ILP (1,65 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) superou a do ILPF (0,57 kg N ha⁻¹ ano⁻¹).

Não foi observada variação nas emissões acumuladas nas áreas de cerradão e pastagem durante todo o período estudado (Tabela 7). O cerradão é um ecossistema em equilíbrio, de forma que não há fortes alterações nas características do solo com o passar do tempo, mesmo durante a estação seca, onde há redução da disponibilidade de água causada pela ausência das chuvas. Além disso, juntamente com a área de pastagem, o ambiente sofre pouca perturbação, não ocorrendo eventos que alterem as condições de solo, refletindo em um comportamento equilibrado da biota do solo em que as-raízes também ajudam a manter este equilíbrio.

Para o N_2O os sistemas avaliados mostraram-se diferentes estatisticamente a 5% de probabilidade (p \leq 0,05) pelo teste Kruskal-Wallis em todos os períodos avaliados. Observouse que a Pastagem, o cerradão e o SAF se assemelham em quase todos os períodos, com exceção do período de Chuva. Os sistemas de ILP e ILPF mostraram-se semelhantes em todos os períodos analisados.

No período de Transição Chuva-Seca houve diferença da Pastagem, SAF e cerradão para os sistemas de ILP e ILPF (p≤0,05), este fato explica-se pela adubação que ocorreu apenas nestes sistemas e nessa época (Figura 8). Nas épocas de Transição Seca-Chuva e Chuva, houve uma maior variação de diferenciação estatística entre os sistemas avaliados.

Os maiores valores acumulados observados nas áreas de ILP e ILPF foram resultantes dos períodos que receberam a aplicação de fertilizantes nitrogenados, apresentando diferenças significativas em relação aos outros períodos (Figura 8). A aplicação de fertilizantes aumenta a disponibilidade de N para a microbiota do solo, que é o substrato para os processos bioquímicos de produção de N₂O no solo, sendo a principal fonte do gás em sistemas agrícolas (BOUWMAN et al., 2010).

Tabela 7. Total de fluxo de N₂O acumulado em kg.ha⁻¹ em 111 dias.

Sistemas	N_2O
Pastagem	0,150
ILP	0,767
ILPF	0,465
SAF	0,978
cerradão	0,051

4.4 CORRELAÇÃO ENTRE FLUXO DE N2O E VARIÁVEIS DE SOLO E CLIMA

Na análise de correlação aplicada, foi possível identificar as variáveis de solo e clima que apresentam correlação com a emissão de N₂O (Tabela 8).

A produção de N₂O do solo ocorre devido aos processos bioquímicos de nitrificação e desnitrificação (DAVIDSON et al., 2000; CARVALHO, 2005). Esses processos são dinâmicos, e há vários fatores que exercem influência sobre eles. A magnitude das emissões é dependente principalmente da disponibilidade de N no solo, mas outros fatores, como a precipitação e umidade do solo, podem alterar essa dinâmica (ALVES, 2012; CARVALHO, 2005).

Os valores absolutos das correlações desses fatores foram na maioria das vezes pequenos, variando de -0,6 a 0,7 (Tabela 8), sendo observados alguns valores altamente significativos.

No total, os valores que apresentaram correlação com as emissões de N- N₂O foram o EPSA, Precipitação Pluviométrica e Umidade do solo e do ar, reforçando a relação direta que essas co-variáveis em estudo apresentam com os fluxos de N₂O. O N-NO₃- apresentou significância apenas na Transição Seca-Chuva.

Desses fatores o que apresentou maior correlação ($p\le0,05$) foi o EPSA (Tabela 8), sendo um fator limitante nas emissões de N₂O, e vários autores afirmam que há um grande incremento nas emissões quando o seu valor ultrapassa 60%, valor onde a atividade das bactérias desnitrificantes no solo aumenta consideravelmente (LIU et al., 2007, DENMEAD et al., 2010).

Zhang & Han, (2008), em experimento avaliando pastagem nativa e área de cultivo em pousio no semiárido da chin, afirmaram que, quando o EPSA permanece entre 20-70%, a emissão de N₂O é realizada predominantemente por bactérias nitrificantes, ao observar resposta nos fluxos de N₂O com o aumento da umidade em situações em que o EPSA não alcançava 60%.

Mesmo com valores abaixo de 60% (exceto alguns dias no SAF), o EPSA apresentou a melhor correlação com o fluxo de N_2O (Tabela 8). Com valores variando de 21,89% a 64,07% (Figura 5), a quantidade de água disponível no solo demonstrou ser o melhor fator para explicar os fluxos de N_2O .

As temperaturas do solo e do ar foram os fatores que menos influenciaram a emissão de N₂O para este estudo (Tabela 8). Elas tiveram pouca oscilação, sendo que a temperatura do solo ficou em torno de 23°C no período de 2013/2014, e 21°C no período de 2014/2015. Já a temperatura do ar ficou em torno de 21°C nos dois períodos. A temperatura exerce influência na magnitude dos fluxos de N₂O, quando é muito baixa ou muito alta, interferindo diretamente nos processos bioquímicos e limitando a atividade da microbiota ou sua própria existência no solo (DAVIDSON et al., 2006; WERTZ et al., 2013).

Tabela 8. Coeficientes da correlação de Pearson representando a relação entre a emissão de N₂O e variáveis do solo e clima, para as épocas avaliadas.

Variáveis	Total	TCS	SE	TSC	СН
NO ₃ -	0,17180 ^{ns}	0,14678 ^{ns}	-0,56929 ^{ns}	-0,47182*	0,20130 ^{ns}
$\mathrm{NH_{4}^{+}}$	0,10213 ^{ns}	-0,06326 ^{ns}	0,54657 ^{ns}	-0,29834 ^{ns}	0,26431 ^{ns}
Precipitação	0,23424*	0,18821 ^{ns}	-	-0,27918 ^{ns}	0,24794 ^{ns}
EPSA	0,51668*	0,48820*	0,38753 ^{ns}	0,11727 ^{ns}	0,56968*
Umidade do solo	0,21875*	0,58489*	-0,16293 ^{ns}	-0,64446*	-0,35706*
Umidade do ar	0,30244*	0,01260 ^{ns}	-0,13122 ^{ns}	0,70064*	0,11840 ^{ns}
Temperatura do solo	-0,00293 ^{ns}	0,21158 ^{ns}	0,02992 ^{ns}	-0,17755 ^{ns}	-0,15162 ^{ns}
Temperatura do ar	-0,03859 ^{ns}	-0,38200 ^{ns}	-0,35820 ^{ns}	0,37865 ^{ns}	-0,16591 ^{ns}

^{ns} Não significante, e * Significante a 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÕES

Nas condições deste estudo, conclui-se que:

- O nitrogênio na forma amoniacal (N-NH₄⁺) predomina no solo em relação a forma nítrica (N-NO₃⁻);
- O solo sob pastagem e cerradão resultam em menores fluxos de N₂O nos períodos de transição chuva-seca e chuva, cerradão e pastagem no período de chuva;
- O cerradão e o SAF apresentam uma relação NH₄⁺/NO₃⁻ maior que o ILP e o
 ILPF
- As maiores correlações significativas de N₂O acumulado são estabelecidas com EPSA em todo período e nos períodos de chuva-seca e de chuva.

6 BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, R.C. & NOCE, M. A. Integração Lavoura-Pecuária. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 47.** 16p 2005.

ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em SPDP na condição de clima tropical. In: **Anais do Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha**, 2008, Londrina. Produzindo alimentos e energia com sustentabilidade. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, p. 28-34. 2008

ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; RAMALHO, J. H.; GARCIA, J. C.; CLEMENTE, E. P.; CASTRO, A. A. D. N. Integração Lavoura-Pecuária: Ferramenta para produtividade com sustentabilidade. In: **Anais do Workshop Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta na Embrapa**. Embrapa. Brasília, 2009

ALVES, R. P. Dinâmica de nitrogênio em sistema agroflorestal na Região de Cerrado (Brasil Central). 61 p. **Dissertação de Graduação.** Faculdade UnB de Planaltina – UnB, Planaltina – DF, 2012.

ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. A.; URQUIAGA, S. (Ed.). Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. Brasília, DF: **Embrapa; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**. 2012.

ARMANDO, M. S; BUENO, Y. M; ALVES, E. R. da S;. Agrofloresta para agricultura familiar. Circular técnica 16, Brasília, Embrapa. 11p. 2003.

BAGGS, E.M., CHEBII, J., NDUFA, J.K. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil & Tillage Research.** 2006.

BAGGS, E.M., PHILIPPOT, L. Microbial terrestrial pathways to nitrous oxide. In: **Nitrous Oxide and Climate Change, Smith, K (Ed.).** Earthscan, London, p. 4-35. 2010.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (ed.). Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. **Embrapa, Brasília**, 130 p. 2011.

BALBINOT Jr., A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925-1933, 2009.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELLINGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes

from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geophysics**, v. 58, p. 116-127. 2015.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: informações gerais e valores preliminares. Brasília, 2009.

BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C. et al. A degradação das pastagens e o ciclo do nitrogênio. In: WORKSHOP: NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO PECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: EMBRAPA. P.110-123. 2000

BOUWMAN, A. F., STEHFEST, E., KESSEL, C. Nitrous Oxide Emissions from the Nitrogen Cycle in Arable Agriculture: Estimation and Mitigation. In: **SMITH, K.** (ed). Nitrous Oxide and Climate Change. Earthscan, London, p. 85-106, 2010.

BUSTAMANTE, M.M.C.; MARTINELLI, L.A.; SILVA, D.A.; CAMARGO, P.B.; KLINK, C.A.; DOMINGUES, T.F.; SANTOS, R.V. N-15 natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p. S200, S213, 2004.

BUSTAMANTE, M.M.C., MEDINA, E., ASNER, G.P., NARDOTO, G.B., GARCIAMONTIEL, D.C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. **Biogeochemistry**, 79: 209–237, 2006.

BUSTAMANTE, M. M. C.; NOBRE, C. A.; SMERALDI, R.; AGUIAR, A. P. D.; BARIONI, L. G.; FERREIRA, L. G.; LONGO, K.; MAY, P.; PINTO, A. S.; OMETTO, J. P. H. B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, p. 559-577, 2012.

BUTTERBACH-BAHL, K.; BAGGS, E.M.; DANNENMANN, M. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? Philosophical Transactions of the Royal Society B: **Biological Sciences**, 368:1-13, 2013.

CAMERON, K. C., DI, H. J., MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of Applied Biology**, v. 162, p. 145-173, 2013.

CARDOSO I.M., SOUZA H.N., MENDONÇA E.S. Biodiversidade, recurso genético e cuidados fitossanitários. **Revista de Ação Ambiental** 31: 18-20, 2005.

CARVALHO, A. M. Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais, disponibilidade de fósforo e emissão de gases. **Tese** (**doutorado**) - Universidade de Brasília. 2005.

CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M.C., KOZOVITS, A.R.; MIRANDA, L.N. de; VIVALDI, L.J.; Sousa, D.M. Emissões de NO e N2O associadas à aplicação de uréia sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p. 679-685, 2006.

CARVALHO, A.M., ALVES, B.J.R., PEREIRA, L.L. Emissão de óxido nitroso do solo com aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em sistema plantio direto. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Nº 281**, 14p. 2010.

CARVALHO, A. M.; SOUZA, K. W.; OLIVEIRA, W. R. D.; MOURA, B. F. S.; CORTES, M. C.; RAMOS, M. L. G. Emissão de N₂O em solo sob Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Integração Lavoura-Pecuária (ILP) durante a estação chuvosa no Cerrado. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Florianópolis. 2013

CARVALHO, A. M. & AMABILE, R. F. Cerrado: **Adubação verde**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Planaltina (DF). 2006

CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; Dantas, R. A.; REIN, T. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W.. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 551-561, 2015.

COSER, T. R. Doses de nitrogênio e seu efeito nos indicadores microbiológicos de qualidade de solo na cultura da cevada. 2006. **Dissertação** (**mestrado**) - Universidade de Brasília.

DAVIDSON, E.A.; MATSON, P.M.; VITOUSEK, R.; RILEY, R.; DUNKIN, K.; GARCÍA-MÉNDEZ, G.; MAASS, J.M. Processes regulating soil emissions of NO and N2O in a seasonally dry tropical forest. **Ecology**, v.74, p.130-139, 1993.

DAVIDSON, E.A.; KELLER, M.; ERICKSON, H., E.; VERCHOT, L.V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **BioScience**, v.50, p.667-680, 2000.

DAVIDSON, E. A., JANSSENS, I. A., LUO, Y. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q10. **Global Change Biology**, v. 12, p. 154-164, 2006.

DENMEAD, O. T., MACDONALD, B. C. T., BRYANT, G., NAYLOR, T., WILSON, S., GRIFFITH, D. W. T., WANG, W. J., SALTER, B., WHITE, I., MOODY, P. W. Emissions of methane and nitrous oxide from Australian sugarcane soils. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 6, p. 748-756, 2010.

DOBBIE, K.E.; MCTAGGART, I.P.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emission from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors. **Journal of Geophysical Research**, v, p. 26891-26899, 1999.

DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. **Global Change Biology**, 9, 204–218, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília. 353p. 2013

FAO. An international consultation on integrated croplivestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. **Integrated Crop Management**, v. 13, 64p., 2010.

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M. Dinâmica do nitrogênio no solo em áreas de cerrado e de pastagens cultivadas no Pantanal Sul Mato-Grossense. Corumbá: EMBRAPA/CPAP, EMBRAPA-CPAP. **Boletim de Pesquisa, 13**. 15p.1998

FERNANDES, E. N.; PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T. de; MÜLLER, M. D.; ARCURI, P. B.; CARNEIRO, J. da C. (Ed.). **Sistemas Agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, cap.s, p.137-154. 2007

FROST, P.; MENAUT, J.C.; WALKER, B.; MEDINA, E.; SOLBRIG, O.T. & SWIFT, M. Response of savannas to stress and disturbance: A proposal for a collaborative program of research. Zimbabwe, 1986. 82p.

GIACOMINI, S. J., JANTALIA, C. P., AITA, C., URQUIAGA, S., ALVES, B.J.R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. 2006.

GONTIJO NETO, M.M.; VIANA, M. C. M.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, E. A.; SIMAO, E. P.; CAMPANHA, M. M. Crop-livestock-forest integration systems in Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal** (Online), v. 71, p. 183-191, 2014.

HELFAND, S.M., RESENDE, G.C., Mudanças na distribuição espacial da produção de grãos, aves e suínos no Brasil: o papel do Centro-Oeste. In: Padrões **Regionais de crescimento da produção de grãos no Brasil e Papel da Região Centro-Oeste**. Helfand & Resende (Org.), p.13-56., 2003.

HOFFMAN, M.R.; Sistema Agroflorestal Sucessional – Implantação mecanizada. Um estudo de caso. 2005. 57 p. **Dissertação de Graduação** – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2005.

IPCC (International Panel on Climate Change). **Climate Change 1994**: Radiative Forcing of Climate Change, Cambridge U. Press, Cambridge, U.K. 1995.

IPCC (International Panel on Climate Change). **Guidlines for National Greenhouse Gas Inventories**. Reference Manual. 2006

HOFFMAN, M.R. M.; Sistema Agroflorestal Sucessional – Implantação mecanizada. Um estudo de caso. 2005. 57 p. **Dissertação de Graduação** – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2005.

HOFFMANN, M. R. M. Sistemas Agroflorestais para Agricultura Familiar: Análise Econômica. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. **Dissertação de Mestrado**. 133 p. 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma cerrado, 2002 a 2008: Dados Revisados. Brasília-DF, 2009

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B.J.R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil Nutrient Cycling in Agroecosystems (on line first). 2008.

KER, J.C.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JUNIOR, W.; CARVALHO FILHO, A. Cerrados: solos, aptidão e potencialidade agrícola. In: Simpósio sobre Manejo e Conservação Do Solo No Cerrado, 1990, Goiânia, GO. **Anais...** Campinas, SP. Fundação Cargill, 1992. p.1-31.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P. Opções de integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. 1.ed. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.131-141. 2003.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, 123: 1-22. 2004.

LIMA, J. E. F. W., SILVA, E. M.,. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. MMA. Brasília, DF. 2005.

LINN, D.W.; DORAN J.W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. **Soil Science Society of American Journal**. v. 48, p. 1267-1272, 1984.

LIU X. J., MOSIER A. R., HALVORSON A. D., REULE C. A., ZHANG F. S. Dinitrogen and N2O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**. vol. 39, p. 2362–2370, 2007.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. **Conservação Internacional do Brasil**, Brasília, 2004.

MAROUELI, R.P. O desenvolvimento sustentável da agricultura no cerrado brasileiro. Brasília, Universitário de Brasília, (**Monografia Latu sensu**) 54p. 2003.

MATSON, P.A.; McDOWELL, W.H.; TOWNSEND, A.R.; VITOUSEK, P.M. The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments. **Biogeochemistry**, v. 46, p.67-83, 1999.

METAY, A.; OLIVER, R.; SCOPEL, E.; DOUZET, J-M.; MOREIRA, J.A.A.; MARAUX, F.; FEIGL, B.J.; FELLER, C. N2O and CH4 emissions from soils under conventional and notill management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). **Geoderma**, v. 141, p.78-88, 2007.

MILLAR, N. BAGGS, E. M. Chemical composition, or quality, of agroforestry residues influences N2O emissions after their addition to soil. **Soil Biology & Biochemistry**. 2004

MILLAR, N. BAGGS, E. M. Relationships between N2O emissions and water-soluble C and N contentes of agroforestry residues after their addition to soil. **Soil Biology & Biochemistry**. 2005

MITERMEIER, N.; MYERS, R.A. & MITTERMEIER, C.G. HOTSPOTS - Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Mexico, **CEMEX Conservation International**, 1999. 430p.

MITTERMEIER, R. A.; MYERS, W.; GIL, P. R.; MITTERMEIER, C. G. 2000. Hotspots. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. **Cemex**, Washington, 2005.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S.C.; COSTA, S.E.V.G.A. & KUNRATH, T.R. Crop-liverstock integration in Brazilian subtropics II. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOK SYSTEMS.

Porto Alegre, 2012. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

MULVANEY, R.L. Nitrogen - Inorganic forms. In: SPARKS, D.L. et al. (Ed.) Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical methods. Madison, EUA: Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1123-1184 p. 1996

NAIR, P.K.R. An Introduction to agroforestry. **Dordrecht: Kluwer**, 499p. 1993.

NARDOTO, G.B.; BUSTAMANTE, M.M.C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasilia, 38, n. 8, p. 955-962. 2003

OLIVEIRA, W. R. D. Carbono e nitrogênio do solo e emissões de N2O em sistemas integrados, pastagem de baixa produtividade e cerrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília-Brasília, **Tese de Doutorado** em Agronomia. 102 p.2015.

PAUL, E. A.; CLARK, F.E. Soil Microbiology and Biochemistry. San Diego, **Academic Press**, 340 pp. 1996.

PINTO, A. de S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KISSELLE, K.; BURKE, R.; ZEPP, R.; VIANA, L.T.; VARELLA, R.F.; MOLINA, M. Soil emissions of N2O, NO and CO2 in Brazilian Savannas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribed fires. **Journal of Geophysical Research**, v.107, p.8089-8095, 2002.

PINTO, A.S; BUSTAMANTE, M.M.C; SILVA, M.R.S.S.; KISSELE, K.W.; BROSSARD, M.; KRUGER, R; ZEP, R.G.; BURKE, R.A. Effects of Different Treatments of Pasture Restoration on Soil Trace Gas Emissions in the Cerrados of Central Brazil. **Earth Interactions**. Volume 10, paper n.1. 2006

RESENDE, J.C.F. A ciclagem de nutrientes em áreas de Cerrado e a influência de queimadas controladas. 2001. 121p. **Tese Doutorado** em Ecologia — Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

RESENDE, M; FILHO CARVALHO, A.; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: COSTA, C.V. e BORGES, L.C.V. (coord.). **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO**, Goiânia, 1992. Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.32-67.

RIBEIRO, J. F., WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M., ALMEIDA, S. P. ed. **Cerrado ambiente e flora**. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC, p. 89-166, 1998.

RUSSELLE, M. P. Nitrogen cycling in pasture systems. In: JOOST, R. E.; ROBERTS, C. A. (Ed.). **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: PPI: FAR, p. 125-166. 1996

RYSCHAWY, J. et al. Mixed crop-livestock systems: An economic and environmental-friendly way of farming? **Animal**, v. 6, p. 1722-1730, 2012.

SALET, R. L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. **Dissertação de mestrado** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1994. SALTON, J. C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANDERSON, M. A. et al. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop—livestock systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, p. 129-144, 2013.

SILVA, S. M. Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de cerrado no Brasil Central. **Trabalho de Conclusão de Curso** — Universidade de Brasília. Planaltina - DF, 2012.

SILVA, R. R. Dinâmica de Nitrogênio Mineral em Sistemas Integrados de Intensificação Ecológica e Cerrado Nativo. **Trabalho de Conclusão de Curso** — Universidade de Brasília. Planaltina - DF, 34 f., 2015.

SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. Microbiota do solo e qualidade ambiental. Campinas: **Instituto Agronômico**, 2007.

SKIBA U.; SMITH K.A. The control of nitrous oxide emissions from agricultural and natural soils. Chemosphere - **Global Change Science**, v.2, p. 379-386. 2000.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z., GWARY, D., JANZEN, H., KUMAR, P., McCARL, B., OGLE, S., O'MARA, F., RICE, C., SCHOLES, B., SIROTENKO, O. Agriculture. In: B. METZ, O. R. DAVIDSON, P. R. BOSCH, R. DAVE, L. A. MEYER (eds.) **Climate Change 2007**: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 497-540. 2007

SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agroforestry Systems**, 19:233-240, 1992.

UNFCCC. Caring for Climate: A guide to the Climate Change Convention and the Kyoto Protocol (revised 2005 edition). **Climate Change Secretariat** (UNFCCC), Bonn, Germany. 2005

VARELLA, R.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; PINTO, A.S.; KISSELLE, K.W.; SANTOS, R.V.; BURKE, R.A.; ZEPP, R.G.; VIANA, L.T. Soil fluxes of CO2, CO, NO, and N2O from an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, v.14, p.221-231, 2004.

WERTZ S.; GOYER, C.; ZEBARTH, B. J.; BURTON, D. L.; TATTI, E.; CHANTIGNY, M. H.; FILION, M. Effects of temperatures near the freezing point on N₂O emissions, denitrification and on the abundance and structure of nitrifying and denitrifying soil communities. **FEMS Microbiology Ecology**. Volume 83, Issue 1, pags 242–254, 2013.

WRIGHT, I. A. et al. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 1010-1015, 2011.

ZHANG, J.; HAN, X. N₂O emission from the semiarid ecosystem under mineral fertilizer (urea and superphosphate) and increased precipitation in northern China. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 2, p. 291-302, 2008.