RUBIA SANTOS CORRÊA

FLUXOS DE N_2O EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO BIOMA CERRADO: COMPARAÇÃO ENTRE A CÂMARA ESTÁTICA E O MÉTODO FLUXO-GRADIENTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:
Profa. Dra. Beata Emöke Madari

Co-orientador:
Dr. João Carlos Medeiros

Goiânia, GO - Brasil
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG

Corrêa, Rubia Santos.

C824f Fluxos de N_2O em sistema integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado[manuscrito]: comparação entre a câmara estática e o método fluxo-gradiente / Rubia Santos Corrêa. - 2014.

98 f. : figs, tabs.

Orientadora:Prof[a]. Dr[a]. Beata Emöke Madari; Co-orientador: Prof[o]. Dr[o]. João Carlos Medeiros.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 2014.

Bibliografia.

1. Bioma cerrado – Agropecuária 2. Solo – Cerrado 3. Óxido nitroso – Emissão – Solo 4. Solo – Câmaras estáticas I. Título.

CDU631.4(213.54)

Permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor

Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: [x] Dissertação [ ] Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor(a):	Rubia Santos Corrêa				
CPF:	027.481.351-30	E-mail:	rubiascorreagyn@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? [x]Sim [ ] Não					
Vínculo Empregatício do(a) Autor(a):	Bolsista				
Agência de fomento:	Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária			Sigla:	CAPES/ Embrapa
País:	BRASIL	UF:	GO	CNPJ:	
Título:	Fluxos de N_2O em sistema integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado: comparação entre a câmara estática e o método fluxo-gradiente				
Palavras-chave:	óxido nitroso, câmaras estáticas manuais, fluxo-gradiente, ILP.				
Título em outra língua:	N_2O fluxes of in *integrated crop-livestock* system in the Cerrado biome: comparison between the static chamber and the method flow-gradient.				
Palavras-chave em outra língua:	nitrous oxide, manuals static chambers, flux-gradient, ICL.				
Área de concentração:	Solo e Água				
Data defesa:	24/02/2014				
Programa de Pós-Graduação:	Agronomia				
Orientador(a):	Beata Emöke Madari				
CPF:		E-mail:	madari@cnpaf.embrapa.br		
Co-orientador(a):	João Carlos Medeiros				
CPF:		E-mail:	medeirosjc@gmail.com		

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização?[1] [x] total [ ] parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

[ ] Capítulos. Especifique: _____

[ ] Outras restrições: _____

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF não-criptográfico da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Data 30 / 10 /2014

_____

Rubia Santos Corrêa

[1] Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

RUBIA SANTOS CORRÊA

FLUXOS DE N_2O EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO BIOMA CERRADO: COMPARAÇÃO ENTRE A CÂMARA ESTÁTICA E O MÉTODO FLUXO-GRADIENTE

Dissertação DEFENDIDA em 24 de fevereiro de 2014, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Drª. Beáta Emoke Madari
Presidente – Embrapa Arroz e Feijão

Prof. Dr. Adão Wagner Pêgo Evangelista
Membro – EA/UFG

Prof. Dra. Selma Regina Maggiotto
Membro – UnB

Goiânia - Goiás
Brasil

A Deus,
A minha mãe Maria José do Santos,
Ao meu noivo Samuel Martinho Rodrigues,
A minha irmã Ana Cláudia Santos Corrêa e,
Em memória ao meu querido avô Dorvalino José dos Santos.

Dedico

"Senhor, vos me perscrutais e me conheceis,
Sabeis tudo de mim, quando me sento ou me levanto.
De longe penetrais meus pensamentos.
Quando ando e quando repouso, vós me vedes,
observai todos os meus passos.
A palavra ainda não me chegou à língua,
e já, Senhor, a conheceis toda.
Vós me cercais por trás e pela frente,
e estendeis sobre mim a vossa mão.
Conhecimento assim maravilhoso me ultrapassa,
ele é tão sublime que não posso atingi-lo.
Para onde irei, longe de vosso Espírito?
Para onde fugir, apartado de vosso olhar?
Se subir até os céus, ali estareis;
se descer a região dos mortos,
lá vos encontrareis também.
Se tomar as asas da aurora,
e me fixar nos confins do mar,
É ainda vossa mão que lá me levará,
e vossa destra que me sustentará.
Se eu dissesse: "Pelo menos as trevas me ocultarão,
e a noite, como se fora luz, me há de envolver.
As próprias trevas não são escuras para vós:
a noite vos é transparente como o dia
e a escuridão, clara como a luz.
Fostes vós que plasmastes as entranhas de meu corpo,
vós me teceste no seio de minha mãe.
Sede bendito por me haverdes feito de modo tão maravilhoso.
Pelas vossas obras tão extraordinárias,
conheceis até o fundo a minha alma."

Salmo 138:1:14.

A meu pai Rubéns Luiz Corrêa,
As minhas avós Maria José dos Santos e
Idean Alves das Neves e,
A minha tia Marli Alves das Neves.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço as minhas queridas amigas Glaucilene Duarte Carvalho, Adriana Rodolfo da Costa e Ana Cláudia Pereira, pelo auxílio, incentivo, carinho, e por compartilhar bons momentos, cheios de muito trabalho, alegria e união.

Agradeço a UFG pela oportunidade concedida.

A minha família. A minha querida irmã Ana Cláudia Santos Corrêa e ao meu noivo Samuel Martinho Rodrigues pelo auxilio e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus amigos e colaboradores Márcio Borges, Ailton e Romildo. Sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

A Capes, a Embrapa e a Fapeg na concessão da bolsa de estudos e na disponibilização de recursos.

A minha orientadora Dra. Beata Emöke Madari por me direcionar e instigar a seguir os caminhos da pesquisa científica.

Ao meu co-orientador Dr. João Carlos Medeiros.

A professora Dra. Selma R. Maggiotto por auxiliar no processamento e interpretação dos dados referentes a técnica do fluxo-gradiente.

A todos os professores da escola de Agronomia que contribuíram para minha formação profissional.

E a todos os demais que de alguma forma colaboraram para meu crescimento pessoal e profissional.

A TODOS MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS..... 7

LISTA DE FIGURAS..... 9

RESUMO..... 13

ABSTRACT..... 14

1 INTRODUÇÃO..... 15

2 OBJETIVOS..... 17
2.1 OBJETIVO GERAL..... 17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 17

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 18
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO..... 18
3.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ATIVIDADE PECUÁRIA NO CERRADO 20
3.3 O SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA..... 25
3.4 O EFEITO ESTUFA E A AGRICULTURA..... 27
3.5 O CICLO DO NITROGÊNIO E FLUXOS DE N_2O EM SOLOS AGRÍCOLAS..... 30
3.6 MÉTODOS UTILIZADOS NA QUANTIFICAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA..... 34
3.6.1 Câmaras estáticas manuais..... 35
3.6.2 Método micrometeorológico (método do fluxo-gradiente)..... 35

4 MATERIAL E MÉTODOS..... 39
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL..... 39
4.2 ESTIMATIVAS DOS FLUXOS DE N_2O ATRAVÉS DOS MÉTODOS DE CÂMARAS ESTÁTICAS MANUAIS E FLUXO-GRADIENTE..... 43
4.2.1 O método da câmara estática manual..... 43
4.2.1.1 Critérios de cálculo..... 45
4.2.1.2 Linearidade das câmaras estáticas manuais..... 48
4.2.1.3 Definição do horário de amostragem para a determinação dos fluxos de N_2O com o método das câmaras estáticas manuais..... 49
4.2.1.4 Amostragem de N_2O pelo método das câmaras estáticas manuais..... 50
4.2.2 O método micrometeorológico (fluxo-gradiente)..... 51
4.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO..... 54
4.4 ANÁLISE ESTÁTISTICA..... 58

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 59
5.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS..... 59
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E CERRADÃO..... 60

5.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E CERRADÃO..... 64
5.4 QUANTIFICAÇÃO DOS FLUXOS DE N_2O PELO MÉTODO DA CÂMARA ESTÁTICA MANUAL..... 67
5.5 FLUXOS DE N_2O POR DOIS MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO: CÂMARAS ESTÁTICAS MANUAIS E FLUXO-GRADIENTE..... 72
5.6 COMPORTAMENTO DOS FLUXOS DE N_2O NA PASTAGEM E NO CERRADÃO..... 75

6 CONCLUSÕES..... 83

7 REFERÊNCIAS..... 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Os quatro RCPs com os respectivos balanços de radiação na atmosfera, e as respectivas projeções dos impactos no ambiente terrestre como o aumento da temperatura e do nível do mar até o ano de 2100 (IPCC, 2013)..... 28

Tabela 2. Magnitude e variabilidade dos fluxos de N_2O utilizando métodos micrometeorológicos e câmaras estáticas em agroecossistemas divergentes..... 33

Tabela 3. Histórico da área sob o SILP e suas respectivas rotações de cultura e tipos de manejo do solo adotados ao longo do inverno e do verão de 1995 a 2013..... 40

Tabela 4. Histórico de entrada e saída de animais na Creche 4, pastagem de *U. ruziziensis*, no período de janeiro a outubro de 2013 e suas respectivas taxas de lotação animal (UA ha^{-1})..... 42

Tabela 5. Produtividade média das culturas no SILP, média da região Centro-Oeste do Brasil e média de Goiás..... 42

Tabela 6. Parâmetros e coeficientes de regressão (R^2) do fluxo médio diário de N_2O (variável dependente) e o fluxo médio em horas do dia (variável independente)..... 50

Tabela 7. Cronograma de amostragens de solo, amostras deformadas e indeformadas, realizadas na área sob pastagem e na área sob floresta no período de 5 de fevereiro a 30 de setembro de 2013..... 55

Tabela 8. Variáveis físicas do solo sob pastagem do SILP e do solo sob floresta com suas respectivas médias e erros padrão (EP). Coletas de solo realizadas na camada de 0-10 cm no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013..... 61

Tabela 9. Variáveis químicas do solo sob pastagem do SILP e do solo sob floresta com suas respectivas médias e erros padrão (EP). Coletas de solo realizadas na camada de 0-10 cm no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013..... 64

Tabela 10. Limites mínimos de detecção dos métodos de regressão linear (RL) e Hutchinson & Mosier (HM) para os intervalos de tempo adotados no experimento (0, 15 e 30 minutos)..... 69

Tabela 11. Aplicação do teste de Wilcoxon - Pareado (α 0,01) na comparação dos dois métodos de quantificação, câmaras estáticas manuais e fluxo-gradiente..... 73

Tabela 12. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas e químicas do solo na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013..... 76

Tabela 13. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas do solo na área sob pastagem. Dados referentes ao período chuvoso de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 24 de abril (114 dia juliano) de 2013..... 78

Tabela 14. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas e químicas do solo sob pastagem. Dados referentes ao período seco de 15 de maio (135 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013..... 80

Tabela 15. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas e químicas do solo sob floresta. Dados referentes ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013..... 82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de baixa produtividade da pastagem e do animal em pastejo. Adaptado de Martha Júnior & Balsalobre (2001). [1]Elevada oferta de forragem e baixa taxa de lotação animal. [2]Baixa oferta de forragem e alta taxa de lotação animal..... 21

Figura 2. Emissões brasileiras de gases de efeito estufa no período de 1990 a 2010 em CO_2eq, adaptado de MCTI (2013)..... 23

Figura 3. Emissões de N_2O oriundas do setor agropecuária no ano de 1999 a 2010, os dados referentes ao ano de 1990 a 2005 são provenientes do II Inventário Brasileiro (MCT, 2010b) e as estimativas foram realizadas pelo MCTI (2013), adaptado de MCTI (2013)..... 24

Figura 4. Porcentagens das emissões de N_2O por atividade oriundas do setor agropecuária, adaptado de MCTI (2013)..... 24

Figura 5. Projeções das concentrações atmosféricas de N_2O em ppb conforme cada RCPs até o ano de 2300 (IPCC, 2013)..... 29

Figura 6. Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso ao longo dos últimos 2000 anos (IPCC, 2007, adaptado por Rocha, 2009)..... 29

Figura 7. Modelo conceitual que representa de forma simplificada o efeito da adubação e irrigação ou precipitação sobre as emissões de N_2O do solo (Adaptado de Bremer, 2006)..... 32

Figura 8. Analisador de gases traço TGA200 da Embrapa Arroz e Feijão..... 37

Figura 9. Diagrama do TGA, método de absorção do laser com diodo ajustável (Adaptado de Bowling et al., 2003)..... 37

Figura 10. Imagem da área experimental indicando a área de ILP, Creche 4, e o Cerradão (Google Earth)..... 40

Figura 11. Croqui da área experimental com disposição das câmaras estáticas na área sob pastagem e floresta. [1]Localização da minitorre micrometeorológica com os amostradores do analisador de gases. [2]Trailer com analisador de gases..... 43

Figura 12. A) Desenho esquemático da câmara estática manual. B) Câmara estática instalada na área sob pastagem. C) Câmara estática instalada na área sob floresta. [1]Conexões instaladas no topo da câmara. [2]Bomba de vácuo manual..... 44

Figura 13. Cromatógrafo gasoso da Embrapa Arroz e Feijão..... 45

Figura 14. Possíveis padrões de dados para três pontos de amostragem de fluxo. Adaptado de Parkin & Venterea (2010)..... 46

Figura 15. Fluxos de N_2O do solo sob pastagem sem aplicação de lâmina de água e fertilizante nitrogenado..... 48

Figura 16. Fluxos de N_2O no solo sob pastagem com aplicação de lâmina de água e fertilizante nitrogenado. [1]Ajuste linear dos dados no tempo de 0 a 40 minutos..... 49

Figura 17. A) Estação chuvosa com animais em pastejo. B) Estação seca. B1 - laboratório móvel (*trailer*) onde está situado o analisador de gases. B2 - minitorre micrometeorológica. C) Adubação de cobertura feita a lanço. D) Adubação manual feita na área das câmaras estáticas..... 51

Figura 18. Esquema que representa os componentes do sistema "Analisador de gás-traço" (TGA200), adaptado de Campbell Scientific (2011)..... 52

Figura 19. Minitorre micrometeorológica instalada na área sob pastagem, Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão. 1 e 2 - amostradores que capturam o gás presente na atmosfera..... 53

Figura 20. Anemômetro sônico instalado na área sob pastagem, Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão..... 53

Figura 21. A) Coleta de amostra de solo deformada. B) Coleta de amostra de solo indeformada com o uso de anéis volumétricos. C) Preparo da amostra indeformada. D) Armazenamento da amostra de solo em filme plástico para preservar e evitar perdas de solo..... 54

Figura 22. A) Pipetagem e filtragem da solução extratora de NH_4^+ e NO_3^-. B) Moagem de solo no moinho de bolas. C) Preparo das amostras para serem peneiradas. D) Peneiramento de amostras de solo em peneira de 60 µmesh para determinação de C e N total. Análises realizadas no laboratório da Embrapa Arroz e Feijão..... 58

Figura 23. Temperaturas médias do ar e do solo na área da pastagem (A) e na área da floresta (B) no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013..... 59

Figura 24. EPPA do solo sob pastagem e floresta, e precipitação. Dados referentes ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média. [1]No dia 3 de junho (154 dia juliano) ocorreu intensa precipitação nas áreas em estudo favorecendo o aumento do EPPA no dia 5 de junho (156 dia juliano)..... 63

Figura 25. pH na área sob pastagem e floresta, precipitação, e animais em pastejo na área sob pastagem, no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média..... 65

Figura 26. A) Teor de amônio e nitrato, precipitação e presença do gado no solo sob pastagem. B) EPPA do solo sob pastagem. C) Teor de amônio e nitrato, e precipitação no solo sob floresta. Avaliações no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. a - redução do teor de amônio após a 2º adubação de cobertura. Barras verticais representam o erro padrão da média..... 66

Figura 27. Fluxos de N_2O em um dia de coleta na estação chuvosa (A), dia 9 de março (68 dia juliano) de 2013, e na estação seca (B), dia 18 de setembro (261 dia juliano) de 2013. As setas indicam presença de fezes, formigueiro dentro da câmara ou local com desnível do solo. *C1 a C25 - repetições de câmaras estáticas na área sob pastagem. *F1 a F5 - repetições de câmaras estáticas na área sob floresta..... 68

Figura 28. Fluxos de N_2O na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013, dados obtidos pelo método da câmara estática e fluxo-gradiente. A) 1º Critério de utilização de dados. B) 2º Critério de utilização de dados. C) 3º Critério de utilização de dados. Barras verticais representam o erro padrão da média..... 71

Figura 29. Valores médios dos fluxos de N_2O obtidos pelo método da câmara estática pelo terceiro critério de utilização de dados, e método do fluxo-gradiente. Dados referente ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (36 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média..... 72

Figura 30. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O obtidos pelo método da câmara estática manual e do fluxo-gradiente... 73

Figura 31. Estimativa dos fluxos de N_2O pelo método da câmara estática manual e fluxo-gradiente, e dados pluviométricos, no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.. 74

Figura 32. Fluxos de N_2O na área sob pastagem e floresta e respectivas temperaturas do ar. Dados referentes ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média..... 75

Figura 33. Fluxos de N_2O (A), teor de amônio e nitrato, e animais em pastejo (B) e EPPA (C) na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. a - decréscimo do teor de amônio após a 2º adubação de cobertura. Barras verticais representam o erro padrão da média..... 77

Figura 34. Fluxos de N_2O (A) e EPPA (B) do solo na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 24 de abril (114 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média 79

Figura 35. Fluxos de N_2O e precipitação (A), teor de amônio e nitrato, e animais em pastejo (B) na área sob pastagem, na estação seca, no período de 15 de maio (135 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. a - redução do teor de amônio após a 2º adubação de cobertura. Barras verticais representam o erro padrão da média..... 81

RESUMO

CORRÊA, R. S. **Fluxos de N_2O em sistema integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado: comparação entre a câmara estática e o método fluxo-gradiente**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.[1]

As mudanças do clima são de importância global influenciando decisões políticas locais e internacionais. É importante que sejam identificados os setores e as atividades antrópicas que contribuem para agravar o cenário do aquecimento global. O óxido nitroso (N_2O) é um importante gás de efeito estufa, apesar de sua baixa concentração na atmosfera esse gás se destaca devido ao seu longo tempo de permanência e ao potencial de absorção de radiação infravermelha de sua molécula e, consequentemente, ao seu alto potencial de aquecimento global. O N_2O presente na atmosfera tem capacidade de absorver radiação infravermelha da Terra e aumentar a temperatura média do planeta. Como consequências observam-se os efeitos do aquecimento em diversos desastres ambientais, mudanças nos padrões de chuvas, derretimento das geleiras e outros fenômenos provocados pelas desordens climáticas. As magnitudes dos fluxos oriundos do sistema agrícola são relevantes, destacando-se a necessidade de identificar fontes e sumidouros de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura. No Brasil o método mais comumente utilizado para a medição de fluxos de GEE é a câmara estática. Supõe-se que, com este método, os fluxos de GEE são subestimados. Neste trabalho esta hipótese foi testada comparando os fluxos de N_2O obtidos com câmaras estáticas manuais com os obtidos por um método micrometeorológico, o fluxo-gradiente, além da caracterização da dinâmica do fluxo de N_2O no sistema de integração lavoura-pecuária (SILP). O estudo foi realizado na Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, em Latossolo Vermelho Acriférrico Típico, sob SILP na fase pastagem. Estudos iniciais foram feitos para definir o tempo de amostragem dos fluxos e o melhor horário para a realização das amostragens pelo método da câmara estática manual. Os tempos de amostragem utilizados foram de 0, 15 e 30 minutos e o melhor período para a rotina de amostragem se concentrou em torno das 10 h. No cálculo dos fluxos, sempre que possível foi utilizada a função de Hutchinson & Mosier. Quando esta função não era aplicável foi utilizada uma função linear simples. O fluxo calculado através da função linear era considerado quando o R^2 era maior ou igual a 0,80. A dinâmica dos fluxos medidos foi comparável entre o método das câmaras estáticas manuais e o método do fluxo-gradiente, entretanto em 69,77% dos dias avaliados os valores positivos obtidos através do método do fluxo-gradiente foram superiores aos obtidos pelo método da câmara estática manual. Quanto aos atributos físicos e químicos do solo sob pastagem, considerando o período em estudo, observou-se que os fluxos de N_2O apresentaram correlação positiva com o teor de nitrato, EPPA e temperatura do solo. Na estação chuvosa houve correlação positiva entre os fluxos de N_2O e o EPPA do solo. Na estação seca foi observada correlação positiva entre os fluxos de N_2O e os teores de amônio e nitrato do solo. Durante o estudo não foi observada emissão de N_2O na área de referência, área esta formada por um fragmento de floresta nativa.

Palavras-chave: óxido nitroso, câmaras estáticas manuais, fluxo-gradiente, ILP.

[1] Orientadora: Dra. Beata Emoke Madari. CNPAF-Embrapa.
Co-orientador: Dr. João Carlos Medeiros. CNPAF-Embrapa.

ABSTRACT

CORRÊA, R. S. **N_2O fluxes of in integrated crop-livestock system in the Cerrado biome: comparison between the static chamber and the method flow-gradient**. 2014. 98 f. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Water)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.[1]

Climate changes is of global importance influencing local and international policy decisions. It is important that sectors and human activities that contribute to worsen the global warming scenario are identified. Nitrous oxide (N_2O) is an important greenhouse gas, despite its low concentration in the atmosphere this gas stands out due to its long residence time and to potential for absorption of infrared radiation of its molecule and to its hence high of global warming potential. N_2O in the atmosphere has the ability to absorb infrared radiation of the earth and increase the average temperature of the planet. As consequences we observe the effects of warming on many environmental disasters, changes in rainfall patterns, melting glaciers and other phenomena caused by climate disorders. The magnitudes of the flows coming from the farm system are relevant, highlighting the need to identify sources sinks of greenhouse gas emissions (GGE) in agriculture. In Brazil the most commonly used method for measuring the greenhouse gas is the static chamber. It is supposed that with this method the fluxes GGE are underestimated. In this work this hypothesis was tested by comparing the N_2O fluxes obtained with manuals static chambers with those obtained by a micrometeorological method, the flux-gradient, and characterizing the dynamics of the flux of N_2O in the Integrated Crop-Livestock system (ICLS). The study was conducted at Embrapa Rice and Beans, in Santo Antônio de Goiás, in clay Rhodic Ferralsol Typical, under ICLS the pasture phase. Initial studies have been made to define sampling times and best time to perform the sampling by the manual static chamber method. The sampling times used were 0, 15 and 30 minutes and the best period for routine sampling was around 10 am. In calculating fluxes, whenever possible the Hutchinson & Mosier function was used. When this function not was applied a simple linear function was used. The flow calculated by the linear function was considered when R^2 was greater than or equal to 0.80. The dynamics of the measured fluxes were comparable between the manual static chamber and flux-gradient method, however in 69.77% of the assessed days the values positive obtained by the flux-gradient method were higher than those obtained by the manual static chamber method. As to the physical and chemical attributes of the soil, considering the entire period under study, in pasture soil, it was observed that N_2O fluxes were positively correlated with the nitrate concentration, WFPS and soil temperature. In the rainy season there was a positive correlation between N_2O fluxes and WFPS of soil. In the dry season there was a positive correlation between N_2O fluxes and the ammonium and nitrate concentrations of soil. During the study not was observed emission of N_2O in of reference area, area this formed by a native forest fragment.

Key words: nitrous oxide, manuals static chambers, flux-gradient, ICL.

[1] Adviser: Dra. Beata Emoke Madari. CNPAF-Embrapa.
Co-adviser: Dr. João Carlos Medeiros. CNPAF-Embrapa.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças do clima causadas por atividades antrópicas é uma realidade que pode afetar a produção agrícola, tanto nos grandes, quanto nos pequenos empreendimentos rurais. É fenômeno relevante a ser discutido em decisões estratégicas, com destaque para as regiões cuja economia tenha forte aderência à agropecuária, a exemplo do bioma Cerrado, importante na produção de alimentos, fibras e agroenergia, além da preservação de sua biodiversidade e da recarga de aquíferos.

Na região Centro-Oeste o crescimento e a produção agrícola e pecuária foram viabilizados pelo avanço tecnológico, que favoreceu a incorporação produtiva dos cerrados, com terras planas e mais baratas e maior produtividade física por área, pelo desenvolvimento da infra-estrutura e pelo crédito agrícola subsidiado, ampliando a participação da região na produção nacional e exercendo forte efeito dinamizador sobre as atividade urbanas (Ferreira & Diniz, 1995).

Com o avanço da fronteira agrícola no cerrado a evolução da pecuária na região deveu-se quase exclusivamente a utilização intensa do fator terra em detrimento da intensificação no uso de capital, tradicionalmente caracterizada pelo extrativismo com uso limitado de insumos no sistema de produção (Martha Júnior et al., 2007).

No Brasil a principal causa de degradação dos solos está relacionada a falta de adoção de práticas de conservação que não foram inseridas por ocasião do estabelecimento da atividade agrícola após o desmatamento ou outro uso (Castro Filho et al., 2001). No contexto da produção agropecuária a degradação das terras está associada às ações que contribuem para o decréscimo da sustentabilidade da produção agrícola no tempo (Hernani et al., 2002). Os mecanismos utilizados para intensificar a produção agrícola contribuem para modificar o ecossistema em geral, resultando em mudanças em longo prazo que adquirem proporções globais, e em diferentes contextos como clima, ecologia e socioeconomia (Arevalo et al., 2002).

Nos estudos sobre mudanças climáticas são indispensáveis metodologias que estimem as emissões dos gases de efeito estufa (GEE). A dificuldade em quantificar as emissões de GEE contribui para gerar incertezas em torno de inventários nacionais. No

Brasil a maior parte dos estudos referentes à emissão de óxido nitroso (N_2O) é realizada pelo método das câmaras estáticas. Métodos micrometeorológicos, apesar de serem empregados em muitos estudos a exemplo de Bowling et al. (2003), por ser uma tecnologia cara, complexa e que demanda mão-de-obra especializada para operar, ainda são pouco difundidos.

Uma maneira de verificar a margem de confiança dos valores de fluxos de N_2O estimados com câmaras estáticas é a comparação deste método com métodos utilizando técnicas de micrometeorologia que permitem o monitoramento dos fluxos de gás em tempo real. No Brasil é provável que os dois métodos sejam empregados como métodos complementares para estimar os fluxos de N_2O.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve como objetivo geral quantificar os fluxos de N_2O em sistema de integração lavoura-pecuária, na fase pastagem, utilizando e comparando dois métodos de quantificação, o micrometeorológico (fluxo-gradiente) e o da câmara estática manual.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Quantificar os fluxos de N_2O através dos métodos da câmara estática manual e do fluxo-gradiente. Comparar os valores de fluxos de N_2O obtidos pelos dois métodos de quantificação. Caracterizar as variáveis químicas e físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária, solo sob pastagem, em comparação a área sob floresta secundária de cerrado. Comparar os fluxos de N_2O obtidos no solo sob pastagem com os obtidos no solo sob floresta, e avaliar e identificar quais são as propriedades químicas e físicas do solo que apresentam maior influência sobre os fluxos de N_2O.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO

O bioma Cerrado é conhecido pela diversidade de suas formas fitofisionômicas e por possuir a mais rica flora dentre as savanas do mundo, com elevado nível de endemismo (Klink & Machado, 2005). Plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas e cipós somam mais de 7.000 espécies (Mendonça et al., 1998). O clima é considerado estacional, com ocorrência de período chuvoso de outubro a março, e de período seco de abril a setembro. As temperaturas médias oscilam entre 22ºC e 27°C, e a precipitação média anual é de 1.500 mm (Klink & Machado, 2005).

A manutenção e a distribuição das diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado estão relacionadas a fatores edáficos, topográficos, ocorrência de fogo (Oliveira Filho et al., 1990) utilizado na abertura de áreas virgens e para estimular o rebrotamento das pastagens (Klink & Machado, 2005), e perturbações antrópicas (Oliveira Filho et al., 1990).

O Cerrado brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 2 milhões de km^2, o que correspondendo a 25% do território nacional (Resende & Guimarães, 2007). Concentrado na porção central do Brasil (Sano et al., 2008) engloba parte dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Bahia, Minas Gerais e o Distrito Federal. Ocupa ainda parte dos estados do Maranhão, Piauí, Rondônia e São Paulo, além de áreas disjuntas na região Nordeste encravadas no território da Caatinga, e na região Amazônica, nos estados do Pará e Roraima (Resende & Guimarães, 2007). É o segundo maior Bioma brasileiro, sendo superado em área apenas pela Amazônia (Klink & Machado, 2005).

Aproximadamente 65% da área geográfica do Bioma era ocupada pelo cerrado *stricto sensu*, enquanto o cerradão ocupava em torno de 1%. O restante da área original, 34%, era ocupada por diversos outros tipos fitofisionômicos (Marimon Junior & Haridasan, 2005). O cerradão possui vegetação cuja composição florística é diversificada, sendo variável conforme a fertilidade do solo, podendo ocorrer tanto em solos distróficos

quanto em solos mesotróficos (Araújo & Haridasan, 1988). A caracterização e a fitofisionomia da área de referência, cerradão, utilizada no presente estudo, foram descritas por Silveira (2010). A descrição foi realizada por meio de levantamentos florísticos feitos na área, tomando-se por base a média dos valores de parcelas de 1000 m^2 e plantas com diâmetro acima de 2,5 cm. Foram encontradas 53 espécies na área de cerradão, sem considerar as plantas observadas nas adjacências e as espécies herbáceas. A densidade populacional de plantas foi de 2.717 plantas por hectare.

Dentre as espécies encontradas citam-se: *Qualea grandiflora* Mart. (pau terra folha larga); *Alibertia edulis* (L. C. Rich.) A. Rich. Ex DC. (marmelada de bezerro); *Siparuna guianensis* Aubl. (caapitiú); *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (pimenta-de-macaco); *Sclerolobium paniculatum* Vog. (carvoeiro); *Erythroxylum daphnites* Mart (pimentinha); *Virola subsessilis* (Benth.) Warb. (virola); *Cardiopetalum calophyllum* Schlecht (cardiopetalum); *Miconia pohliana* Cogn. (quaresmeirinha branca)*; Miconia ferruginata* DC. (quaresmeirinha da folha ferrugem); *Miconia burchellii* Triana (quaresmeirinha branca); *Miconia rubiginosa* (Bonpl.) DC. (quaresmeirinha branca) e *Diospyros hispida* A. DC. (pêssego-do-cerrado). Destacaram-se: *Hirtella glandulosa* Spreng (hirtela pilosa); *Hirtella gracilipes* (Hook.f.) Prance (hirtela lisa); *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. (amescla); *Tapirira guianensis* Aubl. (pau-pombo); *Emmotum nitens* (Benth.) Miers. (sobro); *Copaifera langsdorfi* Desf (pau-d´óleo); *Pterodon emarginatus* Vog. (sucupira branca).

A partir dos anos 70 houve intensificação na produção de alimentos favorecida principalmente pela abertura da fronteira agrícola, com expansão na região Sul e Centro-Oeste do Brasil (Ferreira & Diniz, 1995); e de incentivos do Governo Federal, como a política de preços mínimos, de subsídios creditícios e de instalações de obras infraestruturais. A região do cerrado surgiu como possibilidade privilegiada de ocupação, dada a sua localização geográfica e suas características físicas, como clima, chuvas definidas e regulares, e terrenos planos. Essa região era vista pelos órgãos governamentais como alternativa à ocupação da Amazônia, área que estava inserida no contexto dos discursos ambientalistas nacionais e internacionais (Pires, 2000).

A incorporação das áreas do cerrado ao sistema produtivo teve como plano de fundo a modernização agrícola, colaborando para a integração e a dependência da agricultura brasileira ao sistema agroalimentar mundial. Essa integração condicionou o tipo de produção e produtos a serem priorizados, sobretudo as culturas de grãos, consideradas

as principais *commodities* da região no mercado internacional. Essa expansão na produção de alimentos e a utilização de áreas nativas do cerrado incorporadas ao processo de produção agrícola, bem como as políticas públicas de incentivos ao setor, contribuíram substancialmente para uma nova configuração do espaço regional do cerrado, implicando em mudanças sociais, econômicas e ambientais (Pires, 2000).

Mais da metade dos 2 milhões de km² originais do Cerrado foram cultivados com pastagens plantadas e culturas anuais. Apenas 2,2% da área do Cerrado é legalmente protegida. Foram identificados no Bioma 80 milhões de hectares sob diferentes usos da terra, correspondendo a 39,5% da área total. As duas classes mais representativas de uso da terra, isto é, as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, ocupam 26,5% e 10,5% do Cerrado, respectivamente (Sano et al., 2008).

O desmatamento ocorre de forma acelerada sendo uma ameaça às diversas espécies animais e vegetais. As transformações ocorridas no Cerrado propiciaram grandes danos ambientais, dentre estes, podem ser citados a fragmentação de *habitats*, 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 (Klink & Machado, 2005).

3.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ATIVIDADE PECUÁRIA NO CERRADO

Nos últimos 30 anos o Cerrado brasileiro tornou-se a mais importante região brasileira produtora de carne bovina. No Brasil a pastagem é utilizada como principal fonte de alimento para os bovinos (Martha Júnior & Vilela, 2002). A evolução da pecuária na região centrou-se quase exclusivamente na utilização intensa do fator terra em detrimento da intensificação no uso de capital (Martha Júnior & Vilela, 2007).

O desenvolvimento da pecuária na região do cerrado foi caracterizado pelo seu modelo extrativista, com o uso intensivo do fator terra e o uso limitado de insumos no sistema de produção. Entretanto, o modelo extrativista de exploração das pastagens mostrou-se incapaz de garantir a produtividade, a qualidade e a persistência da espécie forrageira. Com o tempo as pastagens formadas por espécies nativas foram sendo substituídas por cultivares de forrageiras selecionadas, o que permitiu ganhos expressivos na taxa de lotação, no desempenho e na produtividade animal (Martha Júnior & Vilela, 2007).

A maior parte da produção de carne bovina provém de sistemas de criação animal caracterizados por baixa produção e baixo retorno econômico (Martha Júnior & Vilela, 2002). O gerenciamento ineficiente do empreendimento (Boin, 1998) ligado ao manejo inadequado do sistema solo-planta e forrageira-animal em pastejo (Martha Júnior & Corsi, 2001), favorecem a degradação da pastagem gerando baixas produtividades e rentabilidades.

A degradação das pastagens tem sido considerada um dos principais entraves à economia pecuarista brasileira. Estima-se que 80% das pastagens cultivadas no Brasil Central já se encontrem em algum estágio de degradação, apresentando processo evolutivo de perda de vigor, com redução da aptidão e resistência a condições adversas, como por exemplo, a susceptibilidade aos efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras; e baixa capacidade de recuperação da vegetação, tornando o sistema insuficiente para suprir as necessidades em quantidade e qualidade exigidas pelos animais (Peron & Evangelista, 2004).

Vários fatores isolados ou em conjunto contribuem para aumentar o grau de degradação das pastagens, entre estes, pode-se citar o estabelecimento inadequado da espécie forrageira na área (Martha Júnior & Vilela, 2002), uso de sementes de baixa qualidade (Peron & Evangelista, 2004), baixa oferta de forragem a alta taxa de lotação animal (Figura 1) (Martha Júnior & Vilela, 2002), e principalmente, a falta de reposição de nutrientes perdidos no processo produtivo por exportação pelo corpo dos animais, erosão, lixiviação e volatilização ao longo dos anos (Peron & Evangelista, 2004).

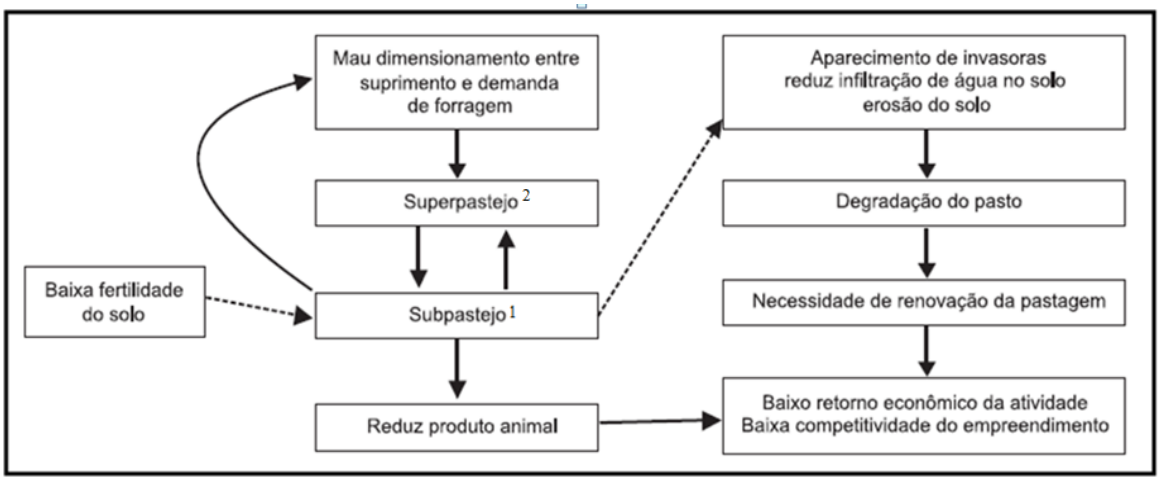

Figura 1. Ciclo de baixa produtividade da pastagem e do animal em pastejo. Adaptado de Martha Júnior & Balsalobre (2001). [1]Elevada oferta de forragem e baixa taxa de lotação animal. [2]Baixa oferta de forragem e alta taxa de lotação animal.

A degradação das pastagens afeta diretamente a sustentabilidade da pecuária nacional (Figura 1), visto que a produção de carne em uma pastagem degradada pode ser seis vezes inferior à de uma pastagem recuperada ou em bom estado de manutenção (Macedo et al., 2000). O processo de deterioração das pastagens culmina na degradação do solo e dos recursos naturais, causando danos irreparáveis para a sociedade (Macedo et al., 1993; Macedo, 1995), além de diminuir o valor das terras e aumentar a idade de abate dos animais (Peron & Evangelista, 2004).

O sistema de produção a pasto é utilizado de forma ineficiente por grande parte dos produtores brasileiros. É necessária a conscientização dos pecuaristas em relação à degradação do sistema. O uso de práticas culturais adequadas, como o correto preparo do solo, escolha da espécie forrageira, pressão de pastejo, período de descanso, e adubações de manutenção, seriam suficientes para resolver o problema (Peron & Evangelista, 2004). Esses fatores responsáveis pela produtividade e sustentabilidade das pastagens, aliados ao manejo adequado dos animais (reprodução, sanidade e nutrição) são importantes e indispensáveis para o sucesso dos empreendimentos da pecuária de corte a pasto no Cerrado (Martha Júnior & Vilela, 2002).

O Brasil possui o segundo maior rebanho de bovinos no mundo, com mais de 211 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2012). Do ponto de vista ambiental os impactos gerados pela pecuária, principalmente os que provém de áreas mal manejadas, intensificam os processos de degradação do solo e ainda contribuem para a emissão de GEE. O sistema de criação extensivo leva a pecuária brasileira a ser considerada a maior fonte emissora de N_2O, sendo responsável por 47,5% das emissões em nível nacional (MCT, 2010a). A deposição de urina e esterco na pastagem é feita de forma localizada, sendo importantes fontes de emissão de N_2O (Sordi et al., 2011).

Com o intuito de reduzir as emissões de GEE, em 2009, o Brasil instituiu a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) por meio da lei nº 12.187/2009, que define o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de GEE entre 36,1% e 38,9%, em relação as emissões projetadas até o ano de 2020. Conforme o Decreto nº 7.390/2010 que regulamenta a PNMC, a projeção de emissões de GEE para 2020 foi estimada em 3,236 Gt CO_2eq. Adequando essa projeção aos porcentuais de redução estabelecidos de acordo com a PNMC, o valor esperado para o ano em questão deve estar entre 1,168 Gt CO_2eq e 1,259 Gt CO_2eq, respectivamente (MCTI, 2013).

Fazem parte das estimativas todos os GEE diretos já considerados no II Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo Montreal de 2010, tratado a partir daqui como II Inventário Brasileiro (MCT, 2010b). Para compará-los e somá-los foi utilizada a métrica usual do potencial de aquecimento global (PAG) como fator de ponderação, conforme IPCC (1995), para se chegar à unidade comum, o equivalente de dióxido de carbono (CO_2 eq) (MCTI, 2013).

O inventário se divide nos seguintes setores: energia, processos industriais, agropecuária, mudança de uso da terra e florestas, e tratamento de resíduos. O setor agropecuária engloba as emissões de GEE provenientes da fermentação entérica do gado, manejo de dejetos animais, solos agrícolas, cultivo de arroz e queima de resíduos agrícolas (MCTI, 2013).

Na Figura 2 observa-se os resultados obtidos no II Inventário Brasileiro com dados referentes ao período de 1990 a 2005 (MCT, 2010b), sendo as estimativas estendidas até o ano de 2010. Pode ser observado que houve diminuição na emissão de CO_2eq pelo setor de uso da terra e florestas, com variação de -40,1% Gg CO_2eq no ano de 1995 a 2005 e de -76,1% Gg CO_2eq no ano de 2005 a 2010. Os outros setores, embora tenham reduzido as emissões de GEE, apresentaram aumentos gradativos nos anos de 1990 a 2010. Após o setor de uso da terra e florestas, a agropecuária é o segundo setor que mais emite Tg CO_2eq, para este setor a variação em Gg CO_2eq foi de 23,8% no ano de 1999 a 2005, e de 5,2% no ano de 2005 a 2010 (MCTI, 2013).

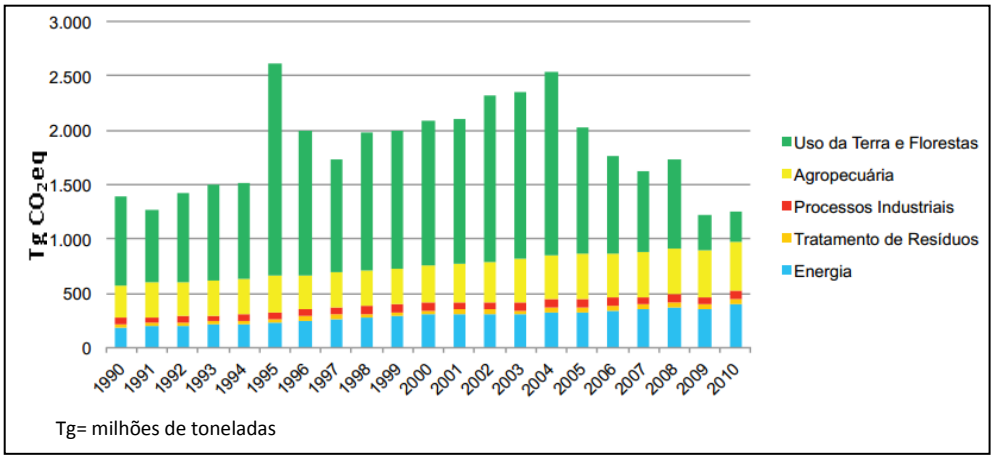

Figura 2. Emissões brasileiras de gases de efeito estufa no período de 1990 a 2010 em CO_2eq, adaptado de MCTI (2013).

A Figura 3 apresenta o resultado das emissões de N_2O no Brasil de 1990 a 2010. A Figura 4 apresenta a contribuição das diferentes atividades do setor agropecuária para a emissão de N_2O no ano de 2010. As emissões diretas dos solos agrícolas provenientes do esterco dos animais em pastagem, do uso de fertilizantes sintéticos, da aplicação de adubo, da incorporação no solo dos resíduos agrícolas e das áreas de cultivo de solos orgânicos, contribuem com 64% das emissões totais, e a maior contribuição identificada dentro das emissões diretas é proveniente dos animais em pastagem, correspondendo a 43% das emissões totais (MCTI, 2013).

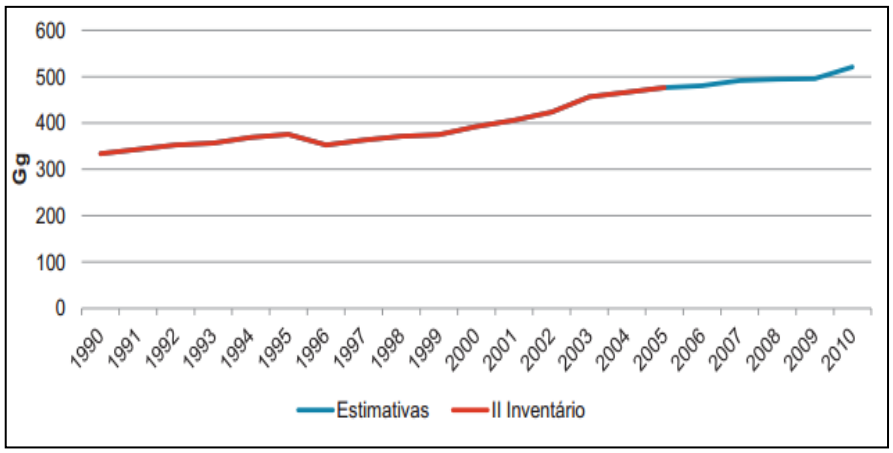

Figura 3. Emissões de N_2O oriundas do setor agropecuária no ano de 1999 a 2010, os dados referentes ao ano de 1990 a 2005 são provenientes do II Inventário Brasileiro (MCT, 2010b) e as estimativas foram realizadas pelo MCTI (2013), adaptado de MCTI (2013).

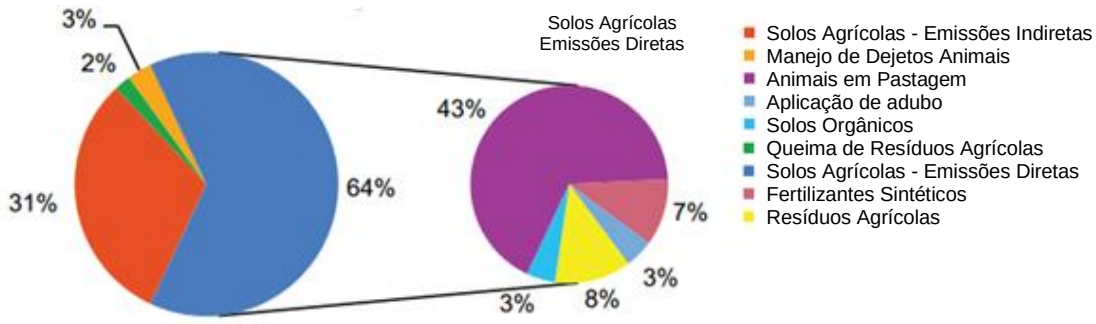

Figura 4. Porcentagens das emissões de N_2O por atividade oriundas do setor agropecuária, adaptado de MCTI (2013).

3.3 O SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

A integração lavoura-pecuária (ILP) sempre foi bastante utilizada, em especial, na abertura de fronteiras agrícolas. É recente a aplicação dos conceitos de ILP em sistemas de plantio direto. No Cerrado o foco da integração está na sucessão, consorciação e rotação das culturas na recuperação de solos e de pastagens degradadas (Carvalho et al., 2005; Vilela et al., 2008).

Segundo Cunha et al. (1994) e Santana (2005) os componentes de sustentabilidade do modelo de produção agrícola são: eficiência técnica, sustentabilidade econômica, estabilidade social e coerência ecológica. Para Wilkins (2008) a ecoeficiência do sistema agrícola aumentaria quando para dado nível de produção, menos recursos (terra, água e insumos) seriam utilizados, causando menor impacto nocivo ao ambiente sem sacrificar o potencial produtivo bioeconômico da atividade pecuária. O uso eficiente de nutrientes, de agroquímicos, de energia e a redução na emissão de GEE seriam questões-chave que afetam a ecoeficiência (Vilela et al., 2008).

Segundo Alvarenga & Noce (2005) a ILP baseia-se na coexistência harmônica de atividades agrícolas e pecuárias dentro da propriedade rural, sendo formada pela diversificação, rotação, consorciação e/ou sucessão dessas atividades. Essa integração de atividades possibilita a maximização racional do uso da terra, infraestrutura e mão-de-obra, promovendo a diversificação e verticalização da produção, minimização de custos, diluição de riscos e agregação de valores aos produtos agropecuários por meio de recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra. O sistema possibilita a exploração econômica do solo durante o ano favorecendo o aumento na oferta de grãos, carne e leite a custo mais baixo, o que é possibilitado pelo sinergismo entre as atividades agrícolas e pecuárias.

Entre as vantagens de adoção da ILP pode-se citar a recuperação ou reforma de pastagens degradadas; melhoria das condições físicas e biológicas do solo, favorecidas principalmente pelo depósito de palhada e raízes de pastagem, com consequente aumento do teor de matéria orgânica (M.O.) e da fonte de carbono para os microrganismos; formação de uma rede de poros no solo pela decomposição de raízes, possibilitando o aumento de trocas gasosas e uma movimentação descendente de água; fornecimento de pasto, forragem e grãos durante a estação da seca; redução de custos devido ao melhor

aproveitamento do solo e da mão-de-obra, aumento da produtividade e menor consumo de defensivos agrícolas (Alvarenga & Noce, 2005).

Por outro lado, o sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) implantado e manejado de forma inadequada e ineficiente, propicia prejuízos ao ambiente, por vezes associados ao pisoteio animal (Vilela et al., 2008). A compactação do solo causa redução na taxa de infiltração de água aumentando a erosão e reduzindo o crescimento das plantas (Greenwood & McKenzie, 2001). A compactação depende de fatores edáficos do componente ambiental e das propriedades físicas do solo, sendo variável com o tipo de solo, conteúdo de água, taxa de lotação animal, massa de forragem (Moraes et al., 2007) e a espécie forrageira utilizada no sistema (Peron & Evangelista, 2004; Marchão et al., 2007).

De forma geral, os impactos negativos provocados pelo pisoteio animal restringem-se as camadas superficiais do solo, podendo ser temporários e reversíveis (Lanzanova et al., 2007). Na região do cerrado, pouca atenção se dá a compactação do solo provocada pelo pisoteio animal, pois não se verifica redução expressiva no rendimento das culturas (Vilela et al., 2008).

Estudos são desenvolvidos de modo a aprimorar os sistemas agrícolas, para que possam proporcionar uma produção que seja viável e sustentável do ponto de vista econômico, ambiental e social. Os sistemas diversificados são importantes para melhorar e manter as características físicas, químicas e biológicas do solo. A utilização de diferentes espécies vegetais favorece a reposição da M.O. propiciando solos bem estruturados, com redução do potencial de erosão por meio da infiltração da água das chuvas e diminuição do transporte de partículas de solo; redução da poluição dos corpos de água; preservação dos macroporos e microporos do solo, favorecendo a penetração das raízes e aumento do volume de solo explorado pelo sistema radicular; e eficiência no uso de água e de nutrientes pela cultura agrícola (Vilela et al., 2008).

Além dos efeitos benéficos já mencionados, a ILP promove maior diversidade dos grupos da macrofauna invertebrada do solo (Silva et al., 2006). Esses organismos são importantes no funcionamento do ecossistema, pois participam de diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar do solo. Esses invertebrados presentes no solo provocam alterações na população e na atividade de microrganismos responsáveis pelo processo de mineralização e humidificação da M.O., alterando a forma e a disponibilidade dos nutrientes assimiláveis pelas plantas (Decaëns et al., 2003).

Um dos manejos adotados na ILP é o tipo Santa Fé, desenvolvido pela Embrapa Arroz e Feijão. Idealizado na Fazenda Santa Fé, em Goiás, preconizava não só recuperar as pastagens com o cultivo de lavouras, mas aproveitar a adubação residual provinda das culturas graníferas na implantação da forrageira, visando níveis produtivos satisfatórios.

O sistema Santa Fé proporciona rápido retorno técnico e econômico, e consiste no cultivo consorciado de uma cultura granífera, em geral, milho, sorgo, milheto, arroz de terras altas e soja, com uma cultura forrageira, principalmente as do gênero *Urochloa*, para a produção de cobertura morta no sistema de plantio direto, e de pasto na entressafra. O sistema propicia a médio prazo aumento no rendimento das culturas e das pastagens, e redução dos custos de produção (Alvarenga & Noce, 2005). Deve-se levar em consideração que embora a ILP apresente algumas vantagens em relação a outros sistemas de produção, o sucesso na produção agrícola depende do conhecimento adequado do sistema como um todo.

3.4 O EFEITO ESTUFA E A AGRICULTURA

A composição química da atmosfera variou através dos tempos até atingir a composição que hoje conhecemos, formada por nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e gás carbônico (CO_2), além de pequenas concentrações de outros gases. A maior parte dos gases existentes, além de deixar passar a luz que provém do Sol é também transparente às radiações emitidas pela superfície da Terra e pela própria atmosfera. No entanto, alguns gases entre os quais se destacam o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o N_2O e o vapor d'água, também transparentes à radiação proveniente do Sol, absorvem parte das radiações de onda longa que são emitidas pela superfície da Terra e pela própria atmosfera, conhecidas como radiação infravermelha, e dificultam seu escape para o espaço. Estes gases são conhecidos como gases de efeito estufa (FBDS, 1994), e possibilitam a temperatura média do planeta situar-se ao redor dos 14°C o que é importante para o surgimento e a manutenção de vida no planeta (Baede et al., 2001).

Entretanto, aumentos recentes nas concentrações dos GEE na atmosfera, em grande parte associados à queima de combustíveis fósseis, à mudança de uso da terra e as atividades agropecuárias, têm causado impacto no balanço de radiação do planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da Terra (Lima, 2002). Segundo Duxbury (1994) as

atividades agrícolas contribuem com cerca de 25%, 65% e 90% do total das emissões antropogênicas de CO_2, CH_4 e N_2O, respectivamente.

Se as emissões de GEE continuarem crescendo às taxas atuais é de se esperar um acréscimo na temperatura de até 4,8ºC ao longo dos próximos anos, isso resultará em uma elevação de até 82 cm no nível do mar (IPCC, 2013). O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) divulgou em 2013 a primeira parte do seu quinto relatório de avaliação (AR5). A previsão do AR5 é baseada em milhares de pesquisas e considera a alteração no balanço de radiação do planeta (razão entre a quantidade de energia solar que entra e que sai do planeta indicando o quanto ficou armazenada no sistema terrestre) e o impacto das emissões (Toledo, 2013).

No AR5 foram previstos quatro cenários - *Representative Concentration Pathways* (RCPs) - possíveis de acontecer até o ano de 2100 (Tabela 1). O cenário mais otimista prevê que o sistema terrestre armazenará 2,6 W m^{-2} adicionais. Já o pior cenário, que considera o crescimento das emissões em ritmo acelerado, prevê um armazenamento adicional de 8,5 W m^{-2}. Em todos os cenários há 90% de probabilidade que a taxa de elevação dos oceanos durante o século XXI exceda a observada entre 1971 e 2010 (IPCC, 2013). O aquecimento dos oceanos continuará ocorrendo durante séculos, mesmo se as emissões de GEE diminuírem ou permanecerem constantes (IPCC, 2013). Na Figura 5 pode ser observada a concentração de N_2O segundo os quatro RCPs e as suas respectivas projeções até o ano de 2300.

Tabela 1. Os quatro RCPs com os respectivos balanços de radiação na atmosfera, e as respectivas projeções dos impactos no ambiente terrestre como o aumento da temperatura e do nível do mar até o ano de 2100 (IPCC, 2013).

Cenário	Balanço de radiação (W m^{-2})	Aumento da temperatura (°C)	Aumento do nível do mar (cm)
1	2,6	0,3 a 1,7	26 a 55
2	4,5	1,1 a 2,6	32 a 63
3	6,0	1,4 a 3,1	33 a 63
4	8,5	2,6 a 4,8	45 a 82

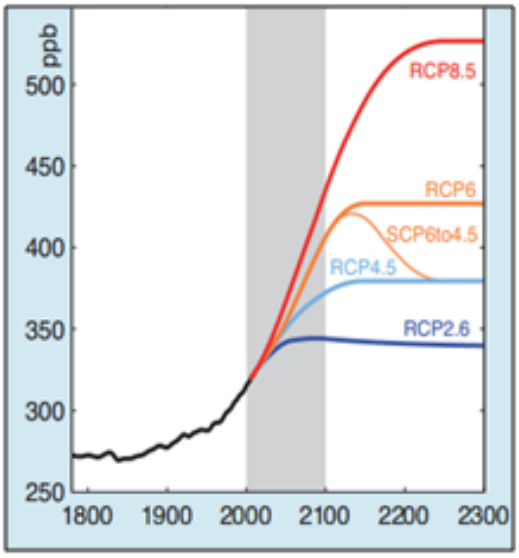

Figura 5. Projeções das concentrações atmosféricas de N_2O em ppb conforme cada RCPs até o ano de 2300 (IPCC, 2013).

Desde a época da pré-revolução industrial a concentração atmosférica de N_2O elevou-se em mais de 10%, de 275 até 320 ppbv (Rocha, 2009) (Figura 6). Apesar de emitido em menor quantidade o PAG do N_2O é 290 vezes superior ao do CO_2 para um período de 20 anos (T=20; horizonte de tempo), e 330 vezes superior para um período de 100 anos (T=100) (Brasseur et al., 1999).

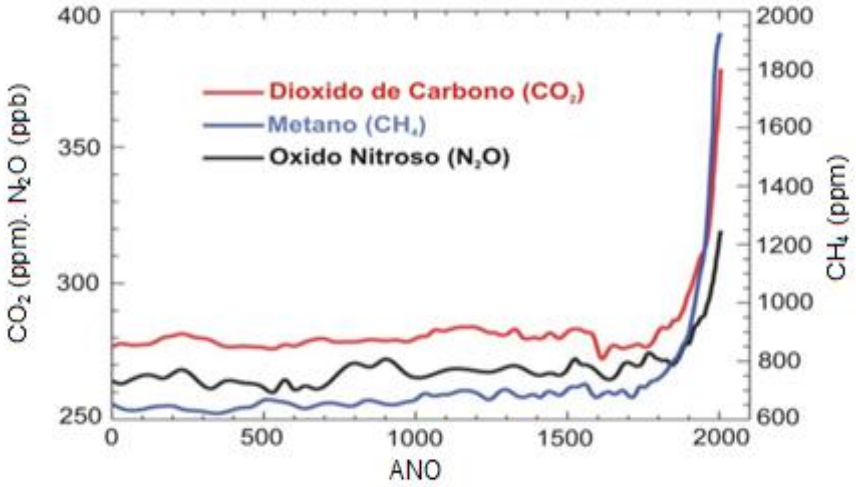

Figura 6. Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso ao longo dos últimos 2000 anos (IPCC, 2007, adaptado por Rocha, 2009).

Além dos problemas relacionados ao efeito estufa o N_2O também provoca a destruição da camada de ozônio (Crutzen, 1981) trazendo inúmeros problemas à saúde humana (Pes, 2009). O efeito destrutivo do N_2O sobre a camada de ozônio pode ser

explicado através do grande número de reações que ocorrem com este gás na atmosfera (Cardoso et al., 2001).

As reações mais importantes envolvidas no efeito da decomposição do N_2O são as seguintes: o N_2O pode reagir com o átomo de O_2 produzindo o óxido de nitrogênio (NO) ($N_2O + O(^1D) = 2NO$) (Akiyama & Tsuruta, 2002). O NO reage com o ozônio (O_3) estratosférico ($NO + O_3 = NO_2 + O_2$) reduzindo sua concentração e absorção dos raios ultravioletas (Davidson et al., 2001) e originando o dióxido de nitrogênio (NO_2) e O_2 como produtos finais. O NO_2 é um componente importante da chuva ácida (Akiyama & Tsuruta, 2002) e pode entrar em reação com o ozônio ($NO_2^- + O_3 = NO_3^- + O_2$) (Brasseur et al., 1999).

Frente à problemática do aquecimento global evidencia-se o papel potencial da agricultura em atuar como sumidouro de GEE, contribuindo para mitigar o forçamento radiativo da atmosfera (Gomes, 2006). Ações e pesquisas devem ser intensificadas visando quantificar as emissões de GEE a partir de diferentes agroecossistemas e identificar atividades e práticas com potencial de mitigação (Costa et al., 2008).

Não há práticas de mitigação que possam ser aplicadas universalmente, estas variam para cada tipo de sistema agrícola. Políticas mitigadoras devem promover incentivos financeiros, regulamentações e viabilizar ações que gerem a melhoria no uso da terra, manutenção do conteúdo de carbono no solo, e o uso eficiente dos fertilizantes e da água (IPCC, 2007).

3.5 O CICLO DO NITROGÊNIO E FLUXOS DE N_2O EM SOLOS AGRÍCOLAS

Ainda que solos sob pastagem e vegetação nativa do Cerrado apresentem fluxos baixos de NO e N_2O, alta emissão é observada após queimadas ou chuvas em sequência a períodos secos (Varella et al., 2004). Esses fluxos elevados, embora de curta duração, são consideráveis no balanço anual da emissão de GEE (Carvalho et al., 2006).

O N_2 é o elemento mais abundante na atmosfera. É quimicamente muito estável. Outros constituintes da atmosfera que contém o elemento nitrogênio em menor quantidade são o N_2O, NO, NO_2, ácido nítrico (HNO_3) e amônia (NH_3). Estes são quimicamente reativos e tem importante papel em problemas ambientais contemporâneos (Brasseur et al., 1999).

O N_2 é transformado em formas de N reativas pelo processo de fixação de nitrogênio que pode acontecer por via biológica ou físico-química (combustão, produção de NH_3 ou HNO_3 etc.). Em solos sob vegetação natural a emissão de compostos com nitrogênio é originada principalmente por processos biológicos que ocorrem a partir de transformações microbianas de suas formas inorgânicas (Yamaguchi et al., 1994). Os processos microbiológicos de nitrificação e de desnitrificação que ocorrem nos solos são os que mais contribuem para as emissões de N_2O (Matson & Vitousek, 1990).

O processo de nitrificação requer condições de oxidação em que o CO_2 é usado como fonte de carbono. A energia necessária ao processo é obtida da oxidação do amônio (NH_4^+). O processo ocorre em duas etapas, na primeira o NH_4^+ é oxidado a nitrito (NO_2^-) pelas bactérias Nitrosomonas ($2NH_4^+ + 3O_2 = 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$), e na segunda o NO_2^- é oxidado a nitrato (NO_3^-) pelas bactérias Nitrobacter ($2NO_2^- + O_2 = 2NO_3^-$) (Cardoso et al., 2001). O NH_4^+ oxidado a NO_2^- origina produtos intermediários como a hidroxilamida (NH_2OH) que é descomposta quimicamente em desnitrificação química (Yamaguchi et al., 1994). Produtos intermediários podem acumular-se e eventualmente ocorrer a liberação de N_2O para a atmosfera (Cardoso et al., 2001).

Desnitrificação é a redução do NO_3^- em formas gasosas do nitrogênio (N_2, N_2O ou NO). É o último passo no ciclo do nitrogênio (NO_3^- (+5) → NO_2^- (+3) → NO (+2) → N_2O (+1) → N_2 (0)). O processo ocorre em ambientes limitados em O_2 (anaeróbicos) e na presença de um agente de redução (por exemplo, M.O.). Quando há agente de redução disponível todo nitrogênio é reduzido a N_2. Entretanto, quando falta agente de redução, o processo de desnitrificação é incompleto e a razão N_2O/N_2 aumenta. Por fim, o N_2 fixado do ar por via industrial ou biológica retorna à atmosfera sob a forma de N_2O, intermediário obrigatório nesse processo (Cardoso et al., 2001). Até 1980 a desnitrificação era considerada a principal fonte de N_2O, depois desse período estudos conduzidos por Bremner et al. (1981) mostraram que a nitrificação também pode ser uma importante fonte de N_2O (Cardoso et al., 2001).

Fatores físicos, químicos e biológicos do solo interagem influenciando as emissões de N_2O (Yamaguchi et al., 1994). As propriedades responsáveis por controlar as emissões a partir de solos agrícolas têm sido identificadas como temperatura, umidade, espaços de poros preenchidos por água (EPPA) e pH (Dalal et al., 2003), as quais afetam diretamente as atividades dos microrganismos nitrificadores e desnitrificadores.

No caso do EPPA alguns autores citam que altas taxas de emissão de N_2O são observadas quando o solo apresenta condições de EPPA acima de 60%, o que dificulta a difusão de O_2 favorecendo a formação de ambientes anaeróbicos (Bateman & Baggs, 2005). Reações de nitrificação com consequente emissão de NO são predominantes no intervalo de 30% a 60% do EPPA (Carvalho & Bustamante, 2007). Em solos encharcados, com mais de 60% do EPPA, reações de desnitrificação prevalecem tendo como produtos finais o N_2O e N_2 (Davidson et al., 2000). Outros estudos identificam que o aumento das taxas de adubação nitrogenada e irrigação em áreas de cultivo contribuem com elevados fluxos de N_2O para a atmosfera (Bouwman, 1996) (Figura 7). Na Tabela 2 pode-se verificar as magnitudes e a variabilidade dos fluxos de N_2O oriundos de diversos agroecossitemas. Os fluxos de N_2O foram medidos por meio do uso de diferentes técnicas de amostragem: câmaras estáticas, fluxo-gradiente e *eddy covariance*.

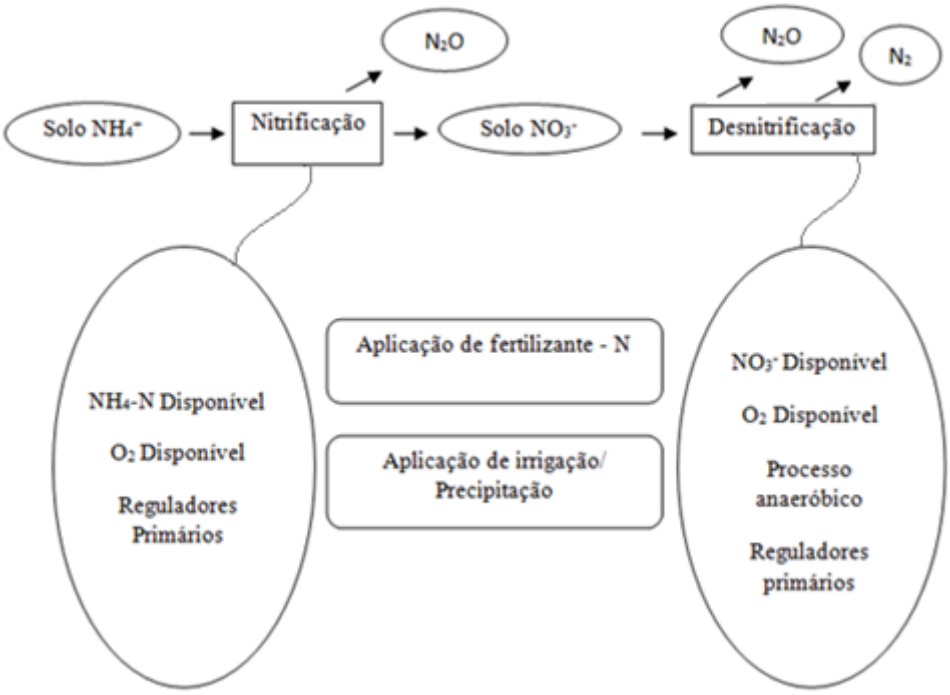

Figura 7. Modelo conceitual que representa de forma simplificada o efeito da adubação e irrigação ou precipitação sobre as emissões de N_2O do solo (Adaptado de Bremer, 2006).

Tabela 2. Magnitude e variabilidade dos fluxos de N_2O utilizando métodos micrometeorológicos e câmaras estáticas em agroecossistemas divergentes.

Autor	Sistema	Solo	AN kg de N ha^{-1} ano^{-1}	Método	Fluxos de N_2O µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1}
Laville et al., 1999	Milho	Podzólico	200[1]	CE	90 a 990
Laville et al., 1999	Milho	Podzólico	200[1]	FG	72 a 1440
Wang et al., 2013	Algodão	Cambissolo cálcico	75	CE	1,2 a 468,8
Wang et al., 2013	Algodão	Cambissolo cálcico	75	EC	-10,8 a 912
Jones et al., 2011	Pastagem	Cambissolo/ Nitossolo[2]	183	EC	-241,2 a 5.176,8
Jones et al., 2011	Pastagem	Cambissolo/ Nitossolo[2]	183	CE	-11,2 a 2.343,6

AN: Adubação nitrogenada; Ø: Sem N; CE: Câmara estática, FG: Fluxo-gradiente, EC: *Eddy Covariance*. [1]Fertilizante injetado no solo sob pressão na forma de amônia anidra. [2]Associação de solos: Cambissolo e Nitossolo.

Maiores emissões são constatadas em solos sem preparo (Maggiotto et al., 2000; Zanatta et al., 2008), isso provavelmente se deve à menor difusão de O_2 decorrente da diminuição da porosidade pela compactação (Liu et al., 2006) e a maior atividade microbiana, que consumiria o O_2 e criaria sítios de anaerobiose (Baggs et al., 2006). O plantio direto pode proporcionar condições favoráveis às emissões de N_2O. O estoque de M.O. na superfície do solo favorece o aumento da população de bactérias nitrificadoras (Carvalho & Bustamante, 2007). Porém, interações entre fatores ligados ao solo e ao clima interferem no efeito do preparo do solo sobre as taxas de emissão (Aita & Giacomini, 2007).

Ahmad et al. (2009) relataram que o uso de plantio direto não resultou em maior nem em menor emissão de N_2O do solo em comparação ao plantio convencional. Jantalia et al. (2008) chegaram à similar conclusão e adicionalmente relataram que a presença de plantas de cobertura ricas em nitrogênio em plantio direto não aumentou significativamente as emissões de N_2O em Latossolos, e que provavelmente deve-se às características físicas desses solos, que não permitem a formação de condições anaeróbicas devido a rápida condutividade hidráulica (alta percolação), e ao efeito das plantas de cobertura na descompactação e aeração do solo.

A falta de informação referente à diversidade e a dinâmica de comunidades microbianas do solo, dificulta a compreensão da forma na qual o manejo do solo pode afetar as emissões de GEE. Como a nitrificação e a desnitrificação estão intimamente associadas ao processo de decomposição da M.O. (Granli & Bockman, 1994), o conhecimento de diferentes sistemas de manejo quanto a qualidade do substrato e os fluxos produzidos, permitirá aprimorar a compreensão dos processos que controlam as emissões. Isso contribuirá para a elaboração de estratégias que minimizem as emissões de GEE em regiões de clima temperado, subtropical e tropical.

3.6 MÉTODOS UTILIZADOS NA QUANTIFICAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Devido à variabilidade espacial e temporal das emissões em solos agrícolas é evidente a dificuldade em se criar um fator padrão de emissão a partir de limitados conjuntos de dados (Ball et al., 1999). O desenvolvimento de metodologias capazes de estimar os fluxos de GEE a partir de solos agrícolas tem despertado interesse especial. Objetiva-se diminuir os erros gerados nas estimativas dos fluxos de GEE por meio da padronização de metodologias pela adoção de protocolos, a exemplo de Hutchinson & Mosier (1981), e utilização de equações empíricas no tratamento dos dados (Hutchinson & Mosier, 1981; Parkin & Venterea, 2010; Parkin et al., 2012) com a finalidade de se evitar valores subestimados ou superestimados devido à técnica de cálculo.

Na literatura internacional foi identificada a existência de incompatibilidade entre o balanço de N_2O quando comparadas as aproximações bottom-up e top-down. A aproximação bottom-up estima as emissões de N_2O por setores utilizando fatores padrão de emissão definidos pelo IPCC para as diferentes fontes de emissão. A aproximação top-down é uma aproximação global, utiliza concentrações diretamente medidas e estimativas globais de entradas de N reativo (Crutzen et al., 2008; Davidson, 2009). Foi observado que o aumento nas concentrações atmosféricas de N_2O não corresponde às estimativas feitas utilizando os fatores de emissão do IPCC (2006), estabelecidos em base de dados não globalmente representativas, sendo que os valores calculados pela aproximação top-down são maiores que os da bottom-up. Entretanto, a razão para esta diferença ainda não foi descoberta. Há ainda vastas áreas e sistemas mal representados por medições, como por exemplo, deltas de grandes rios ou grande parte do hemisfério sul sob diferentes usos de

terra (IPCC, 2011). Uma das hipóteses é que o N_2O excedente, concentração não explicada na atmosfera pelo modelo, tenha origem em áreas e sistemas de produção onde predomina o clima quente, tropical.

3.6.1 Câmaras estáticas manuais

Nos estudos de fluxos de GEE o método de amostragem no campo tem grande importância. O método da câmara estática manual é relativamente barato, simples e não necessita de energia para operar. Parte dos dados utilizados para definir as tabelas propostas pelo IPCC provém de medições com câmaras estáticas (IPCC, 1997; Jones et al., 2011). Entretanto, as incertezas referentes às estimativas provenientes desses dados são elevadas, podendo alcançar valores em torno de 50% (Jones et al., 2011).

A câmara estática funciona como recipiente de ar na interface solo-ar, não havendo renovação de ar do interior com o ar exterior a câmara. A técnica é utilizada para registrar as alterações de gás ao longo do tempo e permite medir variações espaciais entre diferentes locais do mesmo ecossistema, em período de tempo relativamente curto (Rocha, 2009).

A área de cobertura por medição é geralmente menor que 1 m^2, e as medidas raramente são tomadas mais de uma vez por dia, principalmente devido a dificuldade operacional. Assim, este método não é adequado para descrever as variações diárias ou de curta duração, induzidas por exemplo, pela precipitação e uso de fertilizantes (Jones et al., 2011).

As desvantagens adicionais das câmaras estáticas estão relacionadas ao seu método invasivo, como são inseridas no solo, estas podem alterar localmente o ciclo de C e N, e afetar o comportamento de pastejo dos animais no local das câmaras (Jones et al., 2011), além de modificar as características da microatmosfera durante a medição (Davidson et al., 2002).

3.6.2 Método micrometeorológico (método do fluxo-gradiente)

O desenvolvimento de tecnologias capazes de medir em tempo real os diferentes GEE, representa avanço frente às metodologias anteriormente disponíveis (Bowling et al., 2003; Griffis et al., 2004). Os métodos micrometeorológicos fornecem

fluxos líquidos médios para áreas superficiais em uma escala de comprimento de aproximadamente 10 km a 100 km (Santos et al., 2002).

Os dois métodos micrometeorológicos mais utilizados para a medição de fluxos de GEE são o *eddy-covariance* e o fluxo-gradiente. Uma das primeiras representações para os fluxos turbulentos foi baseada em um modelo análogo ao da teoria cinética dos gases, em que porções do fluído conhecidas por turbilhões se comportam como moléculas, transportando movimento, calor, umidade, ou material em suspensão. A essência dessa abordagem supõe que na difusão turbulenta o fluxo de qualquer propriedade é proporcional ao gradiente de seu campo médio (isso é considerado devido a quase homogeneização horizontal, havendo somente o componente vertical do gradiente), essa é a Teoria K, ou método do fluxo-gradiente. A técnica do fluxo-gradiente é o método apropriado para estudar o transporte de constituintes traços conservativos dentro da camada superficial atmosférica (Santos, 2000)

O método do fluxo-gradiente baseia-se em traçar com alta resolução temporal a concentração de gás acima da superfície (solo-vegetação), a partir de medidas baseadas nas variações da velocidade vertical do vento e da grandeza intensiva cujo fluxo se deseja mensurar (Rocha, 2009; Jones et al., 2011). O uso de técnicas micrometeorológicas para se estimar fluxos de GEE permite leituras contínuas produzindo fluxos médios em grande escala (Fowler & Duyzer, 1989; Simpson et al., 1995) e uma melhor compreensão da dinâmica temporal dos fluxos gasosos (Maggiotto et al., 2000).

O TGA200 é um analisador de gases-traço (CO_2, CH_4 ou N_2O e razão isotópica do carbono do CO_2) que quantifica as concentrações de determinado gás em uma amostra de ar, com base no método de espectroscopia de absorção do laser com diodo ajustável (*tunable-diode laser absorption spectroscopy*). É um equipamento que pode ser utilizado no campo, pois suporta condições adversas do clima. Entretanto, não é um sistema simples de ser transportado, neste são acoplados outros instrumentos, como por exemplo, coletor de dados automático, bombas de vácuo e conjunto de gases de referência. Além disso, para completar esse tipo de estudo são necessários outros equipamentos como: anemômetros, pluviômetros e sensores de temperatura e umidade do solo (Rocha, 2009).

O analisador (Figura 8) consiste em um laser que emite luz infravermelha, lentes óticas para polarização do feixe e um detector. A unidade eletrônica controla a emissão do laser e o detector converte o sinal recebido em um valor que representa a

concentração do gás (Gregoski, 2012) que é comparado a uma mistura de referência para o cálculo da concentração real (Figura 9).

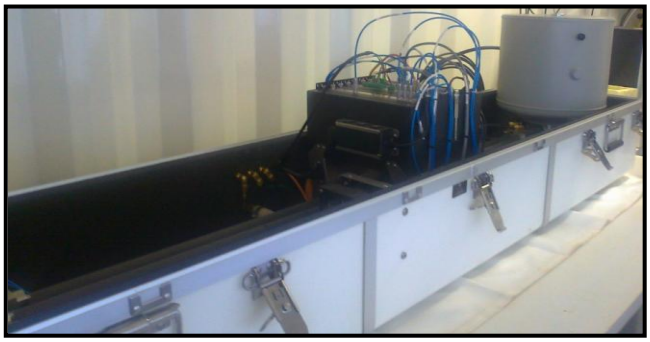

Figura 8. Analisador de gases traço TGA200 da Embrapa Arroz e Feijão.

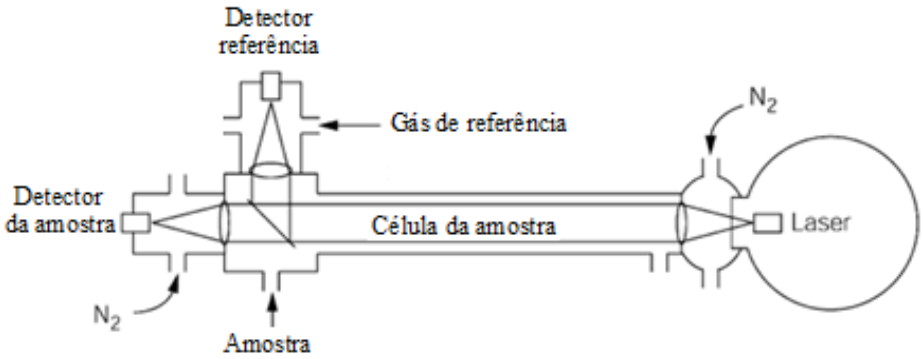

Figura 9. Diagrama do TGA, método de absorção do laser com diodo ajustável (Adaptado de Bowling et al., 2003).

Vários trabalhos mostram a viabilidade desta técnica para a quantificação de fluxos de vários gases-traço (CO_2, CH_4 ou N_2O e razão isotópica do carbono do CO_2, NH_3 etc.) (Kroon et al., 2010). A área sobre a qual um fluxo pode ser integrado por esta técnica varia de 0,01 km^2 a 1,00 km^2, dependendo da altura da torre de amostragem. Entretanto, isto requer uma superfície de origem uniforme o que em muitos ecossistemas agrícolas pode ser uma limitação (Jones et al., 2011).

As maiores desvantagens no uso desse tipo de equipamento estão relacionadas ao elevado custo de aquisição; grau de complexidade (Rocha, 2009); imobilidade, especialmente ao cobrir uma grande área; e além disso, em ecossistemas particulares, a determinação de variações espaciais sobre uma escala muito pequena não é possível com o uso de torres (Santos et al., 2002). Entre as vantagens pode-se citar a alta sensibilidade;

velocidade; seletividade; portabilidade e robustez do equipamento, possibilitando a quantificação líquida dos GEE “in situ”; capacidade de medir fluxos para uma área de várias centenas de m² (Fowler & Duyzer, 1989; Simpson et al., 1995) e quantificar gases com alto teor de particulado (Gregoski, 2012). Grande parte das fontes referentes à técnica do fluxo-gradiente utilizadas no presente estudo são baseadas em estudos internacionais, sendo evidente a necessidade de avaliar sua aplicabilidade no Brasil.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente estudo foi realizado na área experimental da Embrapa Arroz e Feijão, na Fazenda Capivara, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, GO, na região Centro Oeste do Brasil, cujas coordenadas geográficas são: latitude 6º29'59" a 16º29'44" W e longitude 49º17'35" a 49º17'54" S. A altitude média da área é de 804 m e a declividade é de aproximadamente 0,3%. A área referente a Fazenda Capivara foi descrita por Santos et al. (2010) sendo pertencente ao domínio do bioma Cerrado, tipo cerradão, com vegetação nativa subcaducifólia e solo do tipo Latossolo Vermelho Acriférrico Típico de textura argilosa. O clima regional é o tropical de savana megatérmico tipo Aw segundo a classificação de Köppen, marcado por duas estações, chuvosa (Outubro - Abril) e seca (Maio - Setembro). A precipitação pluvial média anual da área é de aproximadamente 1.505 mm conforme dados da estação meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão.

Inicialmente toda a área era ocupada por espécies nativas típicas do Cerrado. Entre os anos de 1933 e 1950, parte da vegetação original foi modificada, as maiores árvores foram desbastadas e destinadas ao mercado moveleiro. A partir deste período, parte da área continuou a ser desmatada para fins agrícolas, porém, a área onde está localizada a floresta permaneceu preservada. Até o ano de 1983 as áreas desmatadas foram cultivadas com feijão, arroz de terras altas e milho. Após esse período, a área foi cultivada apenas por feijão e milho. A partir de 1993 houve a implantação do cultivo alternado de soja (*Glycine max*, L.) e espécies de braquiária (*Urochloa* sp.). Em 1995 foi implantado o SILP em plantio direto. Antes da implantação do SILP o preparo do solo era feito de forma convencional com uma aração e duas gradagens (Baptista, 2012).

O sistema de manejo avaliado neste estudo constitui-se em ILP, tipo Santa Fé, consolidado a partir de 2000. O estudo foi realizado na área da Creche 4, de aproximadamente 8 ha, conduzida com ILP, e na área sob floresta nativa de cerradão,

216 ha, adotada como área de referência (Figura 10).

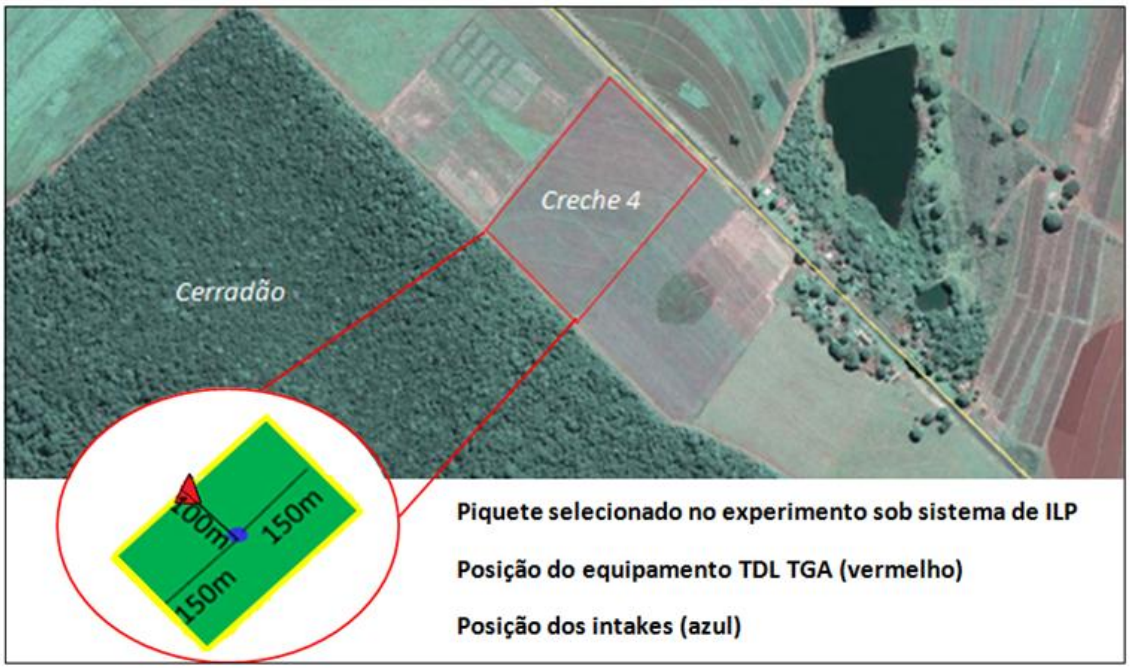

Figura 10. Imagem da área experimental indicando a área de ILP, Creche 4, e o Cerradão (Google Earth).

Neste SILP o cultivo de lavouras é realizado após 3,5 anos de pastagem estabelecendo-se a rotação. O sistema de rotação compreende as seguintes etapas: o estabelecimento da pastagem (*Urochloa brizantha* Staf. cv. Marandú ou *Urochloa ruziziensis*) que começa com milho (*Zea mays*, L.) em consórcio com braquiária. Após a colheita do milho, a braquiária permanece e forma a pastagem por 3,5 anos. A fase agrícola começa com o plantio direto da soja na pastagem, seguido por arroz de terras altas (*Oryza sativa*, L.), e finalmente por milho em consórcio com braquiária, fechando um ciclo de rotação de 6 anos. A pastagem estudada de *Urochloa ruziziensis* estava no terceiro ano de formação, e foi implantada na época chuvosa após 2,5 anos de rotação das culturas anuais (Tabela 3).

Tabela 3. Histórico da área sob o SILP e suas respectivas rotações de cultura e tipos de manejo do solo adotados ao longo do inverno e do verão de 1995 a 2013.

Estação/Ano	Adubação (kg ha^{-1})	Preparo do solo	Cultura
1995	-	Convencional	Feijão
1995/1996	$105N + 90P_2O_5 + 45K_2O$	Plantio direto	Milho
1996	-	-	Pousio

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Estação/Ano	Adubação (kg ha^{-1})	Preparo do solo	Cultura
1996/1997	15N + 90P_2O_5 + 45K_2O	Plantio direto	Milho
1997	2000 Calcário	-	Pousio
1997/1998	15N + 90P_2O_5 + 45K_2O	Plantio direto	Milho
1998	-	-	Pousio
1998/1999	60P_2O_5 + 60K_2O	Plantio direto	Soja
1999	-	-	Pousio
1999/2000	18N + 105P_2O_5 + 53K_2O	Plantio direto	Milho
Inverno 2000	-	-	Pousio
Verão 2000/2001	2000 Calcário + 60P_2O_5 + 60K_2O	Plantio direto	Milho + Capim
Inverno 2001	-	-	Pasto
Verão 2001/2002	2000 Calcário + 60P_2O_5 + 60K_2O	Plantio direto	Soja + Capim
Inverno 2002	-	Plantio direto	Milheto
Verão 2002/2003	2000 Calcário + 288N + 159K_2O	Plantio direto	Milho + Capim
Inverno 2003	-	-	Pasto
Verão 2003/2004	18N + 105P_2O_5 + 53K_2O	Convencional	Arroz
Inverno 2004	-	-	Pousio
Verão 2004/2005	-	Plantio direto	Milho + *U. brizantha*
Inverno 2005	-	-	Pasto
Verão 2005/2006	-	-	Pasto
Inverno 2006	-	-	Pasto
Verão 2006/2007	-	-	Pasto
Verão 2007	-	-	Pasto
Verão 2007/2008	-	-	Pasto
Inverno 2008	-	-	Pasto
Verão 2008/2009	-	-	Pasto
Inverno 2009	-	-	Pasto
Verão 2009/2010	20N + 116P_2O_5 + 58K_2O	Plantio direto	Milho + *U. ruziziensis*
Inverno 2010	-	-	Pasto
Verão 2010/2011	-	-	Pasto
Inverno 2011	-	-	Pasto
Verão 2011/2012	-	-	Pasto
Inverno 2012	-	-	Pasto
Verão 2012/2013	-	-	Pasto
Inverno 2013	-	-	Pasto

Dados fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão.

A área sob pastagem é utilizada na recria de bovinos de corte da raça zebuína Nelore "BRGN" desenvolvida e melhorada para a região do cerrado. Os animais pastavam nas áreas sob o SILP a uma taxa de lotação média de 1,5 UA ha^{-1} (inverno) e 2,7 UA ha^{-1} (verão), com ganho de peso médio diário de 0,3 kg cab^{-1} e 0,6 kg cab^{-1}, respectivamente,

até o alcance de peso ideal para descarte (Baptista, 2012). Os dados de lotação média e ganho de peso médio diário dos animais foram definidos com base nas áreas de pastejo da ILP. Na Tabela 4 tem-se o histórico de entrada e saída dos animais na Creche 4. Em cada área de pastejo os animais pastejavam a curto período de tempo, pois era feito rodízio dos animais nas diferentes áreas do ILP, permitindo aumentar a taxa de lotação animal (UA ha^{-1}).

Tabela 4. Histórico de entrada e saída de animais na Creche 4, pastagem de *U. ruziziensis*, no período de janeiro a outubro de 2013 e suas respectivas taxas de lotação animal (UA ha^{-1}).

Entrada	Saída	Taxa de lotação (UA ha^{-1})
24/01/2012	5/02/2012	15,88
18/02/2012	6/03/2012	15,88
26/03/2012	2/04/212	15,88
15/04/2012	17/04/2012	15,88
24/05/2012	20/07/2012	7,58
08/08/2012	14/08/2012	14,02
14/09/2012	20/09/2012	14,02

Dados fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão.

Os dados de produtividade média das culturas sob o SILP são apresentados na Tabela 5. Os índices de produtividade no SILP superam as médias de produtividades estaduais e regionais, sendo indício de que esse sistema seja eficiente na produção de culturas.

Tabela 5. Produtividade média das culturas no SILP, média da região Centro-Oeste do Brasil e média de Goiás.

Cultura	N*	SILP	Produtividade Centro - Oeste	Goiás
			(kg ha^{-1})	
Soja	4	3466	3061	3000
Arroz de Sequeiro	2	3476	3000	2185
Feijão (*Phaseolus vulgaris*)	2	3033	2631	2900
Milho - Silagem	2	5981**	4407	6036

Dados de produtividade do Centro-Oeste e de Goiás extraídos da CONAB (2011). * N é o número de safras (anos) utilizados no cálculo da produtividade média do SILP. ** Produzido com auxílio de irrigação em períodos de estiagem crítica. Os dados de produtividade do SILP foram fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão (Adaptado de Baptista, 2012).

4.2 ESTIMATIVAS DOS FLUXOS DE N_2O ATRAVÉS DOS MÉTODOS DE CÂMARAS ESTÁTICAS MANUAIS E FLUXO-GRADIENTE

Na quantificação dos fluxos de N_2O foram utilizadas duas metodologias, o método do fluxo-gradiente e o método da câmara estática manual. As amostragens foram realizadas no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013, englobando parte da época chuvosa e seca.

4.2.1 O método da câmara estática manual

O método da câmara estática é sensível às variações do espaço e do microclima local. Com a finalidade de reduzir o efeito dessas variações sobre os fluxos de N_2O, foram marcados na área 25 pontos de amostragens equidistantes a cada 25 m. As câmaras foram dispostas em uma área de 10.000 m^2 dentro da pastagem. Na área de referência, fragmento de floresta nativa, as câmaras estáticas foram instaladas a 50 m da borda da floresta. Foram utilizadas cinco câmaras equidistantes a cada 5 m. A disposição das câmaras pode ser observada na Figura 11.

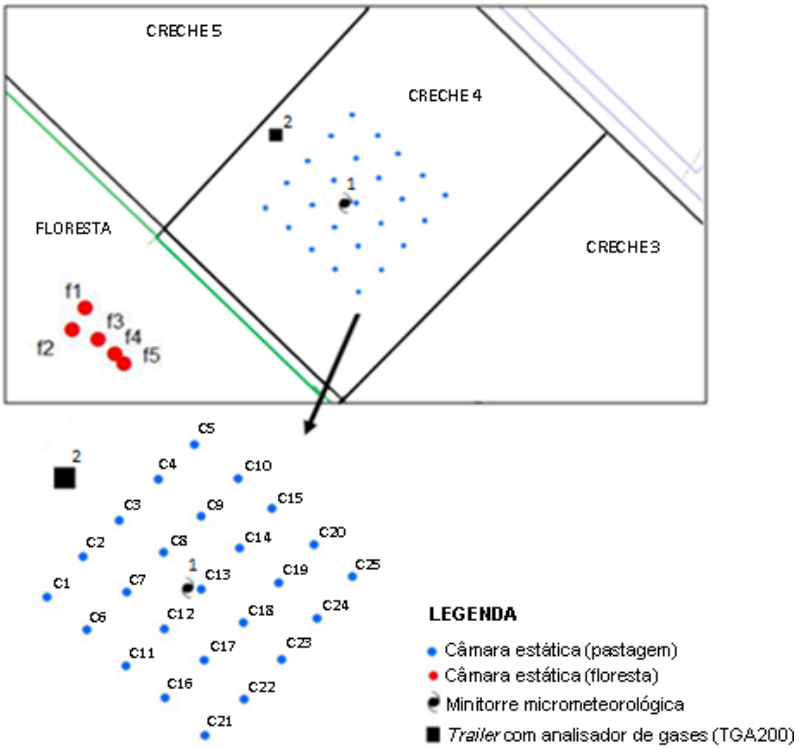

Figura 11. Croqui da área experimental com disposição das câmaras estáticas na área sob pastagem e floresta. [1]Localização da minitorre micrometeorológica com os amostradores do analisador de gases. [2]Trailer com analisador de gases.

A câmara estática utilizada é do tipo base-tampa confeccionada a partir de aço galvanizado (40 cm x 60 cm x 15 cm, largura, comprimento e altura, respectivamente). Na tampa foi inserido um tubo de respiro de 10 cm de comprimento e 6 mm de diâmetro para eliminar os gradientes de pressão interna da câmara, conforme descrito em Parkin & Venterea (2010). Para evitar grandes diferenças entre a temperatura do ambiente interno e externo à câmara, a tampa foi pintada com tinta branca emborrachada. A base foi inserida no solo a 10 cm de profundidade, sendo nivelada conforme a declividade do terreno. A base contém uma calha (2,5 cm largura x 2 cm altura) na qual era depositada uma lâmina de água com a finalidade de vedar o espaço no local de inserção base-tampa da câmara. No topo da câmara foram instaladas conexões para transferir o gás do interior da mesma para frascos *headspaces* (Figura 12).

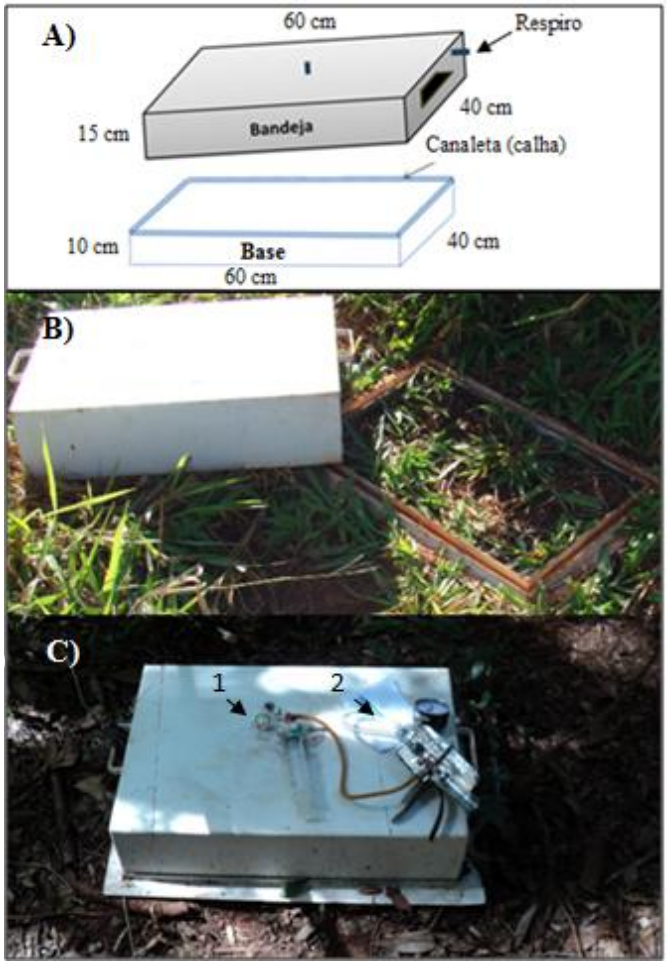

Figura 12. A) Desenho esquemático da câmara estática manual. B) Câmara estática instalada na área sob pastagem. C) Câmara estática instalada na área sob floresta. [1]Conexões instaladas no topo da câmara. [2]Bomba de vácuo manual.

O vácuo nos frascos *headspaces*, lacrados com septo cloro-butil, foram realizados no momento da coleta com auxílio de uma bomba de vácuo manual (-70 kPa). O gás era succionado do interior da câmara por meio de uma seringa de polipropileno (60 mL) na qual era coletado 30 mL de ar, sendo injetado no frasco *headspace* e acondicionado para posterior análise por cromatografia gasosa. Simultaneamente às coletas, as temperaturas do ar e do solo foram monitoradas com termômetro digital portátil.

As amostras contendo N_2O foram analisadas no Laboratório de Análise Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão. A concentração de N_2O foi determinada por cromatografia em cromatógrafo de gás Perkin Elmer Auto System XL (Figura 13), equipado com coluna empacotada, a 65°C, contendo "Porapak Q", e detector de captura de elétrons 63Ni (ECD), a 375°C. Os gases de arraste, argônio (95%) e metano (5%), conhecidos como mistura P5, fluem através do sistema sob pressão a 17,6 mL minuto^{-1} (Costa, 2011). Para a calibração do cromatógrafo foram utilizados padrões primários de N_2O nas concentrações de 350 ppbv e 1000 ppbv (parte por bilhão na base de volume).

Figura 13. Cromatógrafo gasoso da Embrapa Arroz e Feijão.

4.2.1.1 Critérios de cálculo

O momento de instalação da câmara estática na superfície do solo, bem como o fechamento da câmara no início das medições, podem provocar alterações no solo afetando o microclima local. Devido a essas influências nas condições ambientais, os fluxos podem apresentar comportamentos não lineares (Parkin & Venterea, 2010). Segundo Hutchinson & Mosier (1981) e Parkin et al. (2012) a aplicação de regressão linear para tais dados subestimam o fluxo real. Para levar em consideração estes efeitos Hutchinson & Mosier

(1981) propuseram um algoritmo como alternativa à análise de regressão linear, desse modo, os fluxos subestimados na regressão linear foram calculados utilizando a função desenvolvida por Hutchinson & Mosier (1981) [função HM, Eq. 1]

$$F = (C1 - C0)^2 / [\ t1 \times (2 \times C1 - C2 - C0)] \times \ln[(C1 - C0)/(C2 - C1)] \quad [Eq.\ 1]$$

em que F é o fluxo (µL gás L^{-1} h^{-1}); C0, C1, e C2 são as concentrações (ppmv - parte por milhão na base de volume) do gás na câmara de medição no tempo 0, 1 e 2, respectivamente; e t1 é o intervalo entre os tempos de amostragem (h).

A função HM nem sempre é aplicável para estimar o fluxo. Para utilizar essa função deve-se levar em conta algumas considerações como: exige-se que as amostragens de gás tenham sido realizadas em no mínimo três pontos de tempo, e que o intervalo entre o tempo "zero" (C0) e o segundo tempo (C1) de amostragem, e entre o segundo tempo (C1) e o terceiro tempo (C2) de amostragem, sejam iguais. Segundo Parkin & Venterea (2010) a função HM é ajustável aos dados quando: a) a razão [(C1-C0)/(C2-C1)] > 1 (Figura 14, painéis 2 e 3); b) há um adequado fluxo aparente (C2-C0)/Td, Td é o tempo de incubação da medição, tempo entre o tempo "zero" e o último tempo de amostragem da câmara; e c) a curva de decisão de utilização do método HM ou linear é uma função do Indíce de Curvi-linearidade dos dados e do fluxo de N_2O aparente, devendo levar em consideração a precisão do cromatógrafo. Quando a função HM não foi aplicável o modelo linear foi utilizado para calcular o fluxo (Figura 14, painéis 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17).

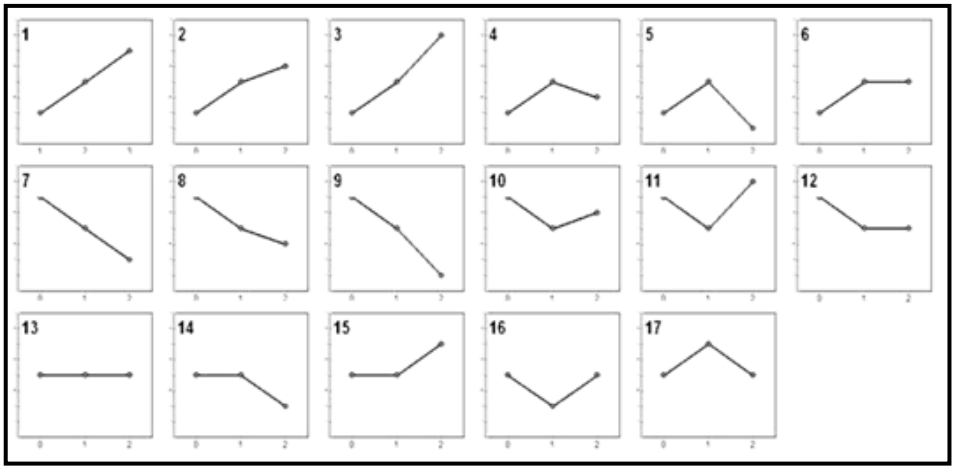

Figura 14. Possíveis padrões de dados para três pontos de amostragem de fluxo. Adaptado de Parkin & Venterea (2010).

Quando a função linear foi utilizada três aproximações foram consideradas no uso dos dados: a) todos os fluxos calculados foram utilizados, b) os fluxos em que a função linear teve ajuste menor que 80% (R^2<0,80) foram considerados iguais a zero, e c) os fluxos em que a função linear teve ajuste menor que 80% (R^2<0,80) foram considerados faltantes.

O fluxo de gás por unidade de área (µL gás m^{-2} h^{-1}) foi obtido multiplicando a concentração de gás (µL gás L^{-1} h^{-1}) pelo volume da câmara (L), e o valor resultante dividido pela área da câmara de amostragem (m^2). O fluxo de gás foi convertido de unidade volumétrica (µL gás m^{-2} h^{-1}) para unidade de massa (µg gás m^{-2} h^{-1}) utilizando a lei de gases ideais [Eq. 2].

$$PV = nRT \quad [Eq. 2]$$

em que P é a pressão (atm); V é o volume (L); n é o número de mols do gás (µmol); R é a constante da lei de gases ideais; e T é a temperatura (K).

O limite de detecção do método das câmaras estáticas foi calculado a partir da confiabilidade da amostragem em campo e da precisão do cromatógrafo. Os cálculos foram feitos com base nos trabalho de Parkin & Venterea (2010) e Parkin et al. (2012). Os valores foram calculados para cada dia de amostragem.

A partir da variação da concentração dos gases no tempo estima-se o efluxo ou influxo do N_2O no sistema solo-atmosfera (Hutchinson & Livingston, 1993). Considerando essas informações, antes de quantificar os fluxos de N_2O alguns fatores foram determinados. No estudo da linearidade determinou-se o intervalo de tempo em que a concentração dos gases dentro da câmara estática aumenta linearmente. Foram avaliadas duas condições: sem e com aplicação manual de ureia (10 g N m^{-2}) e lâmina de água (10 mm) na área das câmaras. Os gases foram amostrados em intervalos de 5 até 50 minutos.

Posteriormente foi realizado um estudo do comportamento e da magnitude dos fluxos de N_2O em um período de 24 h, com a finalidade de definir o horário que represente o fluxo médio diário, e que seja adequado a rotina de amostragem. Para estimular os fluxos de N_2O no solo foi feita manualmente a aplicação de ureia (10 g N m^{-2}) e lâmina de água (10 mm) na área das câmaras. As coletas de gás foram realizadas em intervalos de 2 h ao

longo de 24 h durante quatro dias de amostragem. Os dados foram examinados através de análises de regressão entre o fluxo médio diário (variável dependente) e os fluxos medidos em cada hora do dia (variável independente).

4.2.1.2 Linearidade das câmaras estáticas manuais

Considera-se uma boa prática coletar amostras de ar sucessivas após a implantação da câmara estática para examinar possíveis desvios da linearidade dos fluxos de N_2O em função do tempo (Rochette & Eriksen-Hamel, 2008; Alves et al., 2012). Para as especificações da câmara estática utilizada, sem ocorrência de precipitação, deposição de resíduos orgânicos pelo gado ou adubação nitrogenada, foram observados na área da pastagem fluxos de N_2O poucos expressivos (Figura 15). Nessas condições o fluxo do gás N_2O do solo para a atmosfera foi indetectável.

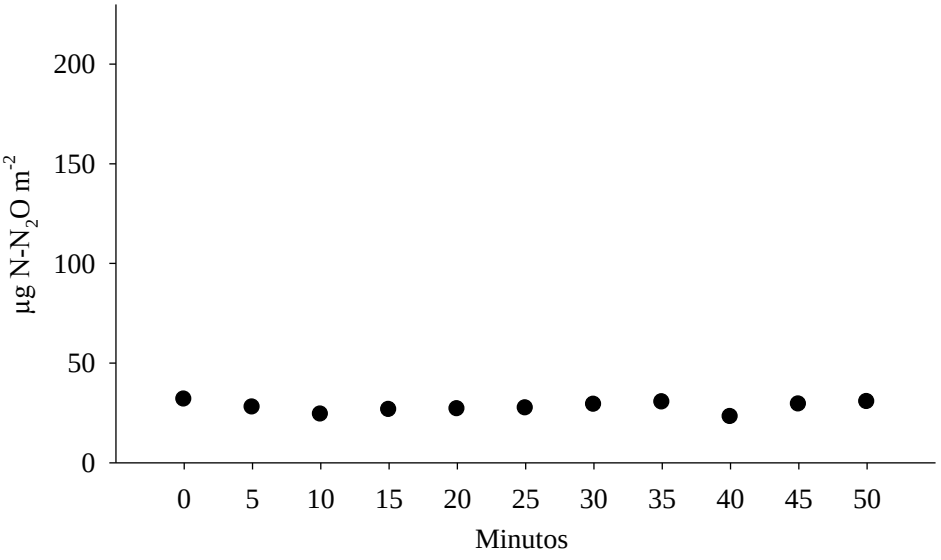

Figura 15. Fluxos de N_2O do solo sob pastagem sem aplicação de lâmina de água e fertilizante nitrogenado.

Após o estímulo na produção de gases pelo solo através da aplicação de ureia e lâmina de água, foi verificada que a concentração do gás N_2O aumentou linearmente até o tempo de 40 minutos, após esse momento começou a ocorrer à saturação da câmara com o gás (Figura 16). No tempo de 0 a 40 minutos o ajuste dos dados a regressão linear foi de 0,98 (R^2=0,98) (Figura 16). Com base neste estudo definiu-se o tempo de 30 minutos como o tempo máximo de fechamento das câmaras, sendo as amostragens repetidas nos intervalos de 0, 15 e 30 minutos após serem fechadas.

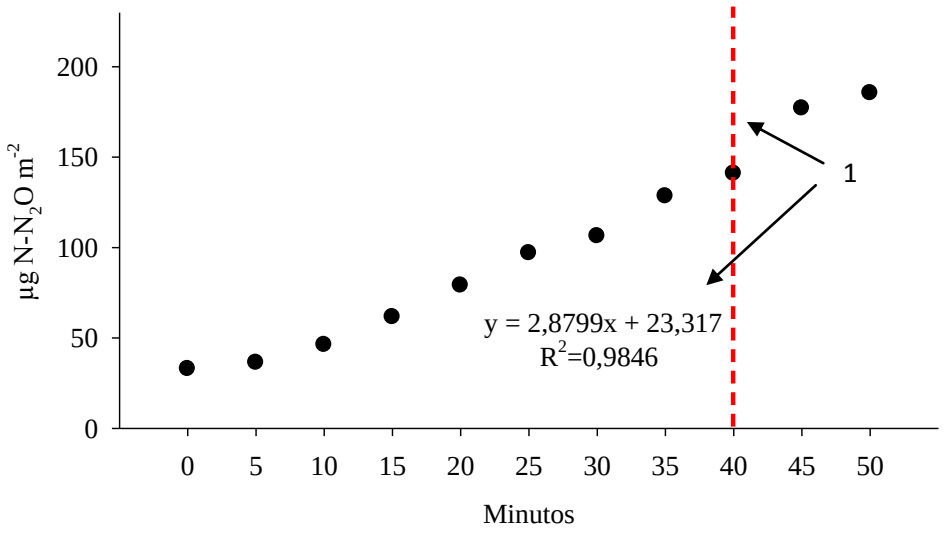

Figura 16. Fluxos de N_2O no solo sob pastagem com aplicação de lâmina de água e fertilizante nitrogenado. [1]Ajuste linear dos dados no tempo de 0 a 40 minutos.

4.2.1.3 Definição do horário de amostragem para a determinação dos fluxos de N_2O com o método das câmaras estáticas manuais

O método da câmara estática manual demanda tempo e é bastante laborioso, sendo necessárias várias repetições para avaliar os fluxos com confiabilidade. Devido à dificuldade operacional desse método é conveniente que as amostragens sejam realizadas em um período de tempo que represente o fluxo médio diário.

Na quantificação dos fluxos de N_2O em um período de 24 h de medições em câmaras estáticas manuais, foi observado nos resultados da análise de regressão (Tabela 6) que a inclinação variou de 0,51 a 2,22. Exceção aos valores de fluxos obtidos as 8 h, visto que não ajustaram ao modelo linear. A menor inclinação foi estimada na amostragem das 14 h indicando que os fluxos medidos nesse horário foram 49% maiores que o fluxo médio diário. A maior inclinação obtida foi estimada na amostragem das 6 horas quando os fluxos medidos foram 122% menores que o fluxo médio diário. Fluxos de N_2O medidos as 10 h, 22 h e as 00 h foram os que mais se aproximaram da média diária com superestimação do fluxo médio diário em 8% e 2%, e subestimação de 5%, respectivamente. Fluxos de N_2O do solo medidos em qualquer outro período ocasionaram superestimação ou subestimação do fluxo médio diário em até 47% ou 32%, respectivamente. No presente estudo a hora do dia que representou o fluxo médio diário e que é operacionalmente adequada a rotina de amostragem foi às 10 h.

Tabela 6. Parâmetros e coeficientes de regressão (R^2) do fluxo médio diário de N_2O (variável dependente) e o fluxo médio em horas do dia (variável independente).

Tempo de amostragem (hora do dia)	a	b	R^2
10:00	0,92	4,03	$0,98^{**}$
12:00	0,53	32,02	$0,98^{*}$
14:00	0,51	32,98	$0,99^{ns}$
16:00	0,53	24,35	$0,99^{ns}$
18:00	0,73	19,06	$0,95^{**}$
20:00	1,29	-17,79	$0,95^{*}$
22:00	0,98	0,36	$0,76^{**}$
00:00	1,05	-1,11	$0,91^{*}$
2:00	1,32	-9,33	$0,93^{**}$
4:00	1,29	-15,70	$0,99^{*}$
6:00	2,22	-76,58	$0,39^{ns}$

Os dados foram ajustados ao modelo linear Fldm= (aFltm) + b, em que Fldm é o fluxo médio diário e Fltm é o fluxo médio em cada tempo de amostragem (Jantalia et al., 2008; Alves et al, 2012). **Correlação positiva e significativa para p-valor <= 0,01. *Correlação positiva e significativa para p-valor >0,01 e <=0,05. ^{ns}Correlação não significativa.

4.2.1.4 Amostragem de N_2O pelo método das câmaras estáticas manuais

Definidas as condições preliminares para a realização do experimento (linearidade e o horário de coleta) procedeu-se ao estudo da quantificação dos fluxos de N_2O. Foram realizadas duas adubações nitrogenadas, uma na época chuvosa (Figura 17A) no dia 11 de março (70 dia juliano) de 2013 com aplicação de 100 kg de ureia ha^{-1} (45 kg de N ha^{-1}), e a outra na época seca (Figura 17B) no dia 8 de julho (189 dia juliano) de 2013 (Figura 17C e 17D) com aplicação de 222,22 kg de ureia ha^{-1} (100 kg de N ha^{-1}). A ureia foi aplicada a lanço sendo distribuída em toda a área da Creche 4 (Figura 17C).

Próximo a cada câmara estática foi marcada uma área de 0,24 m^2 em que eram realizadas as coletas de solo destinadas as análises químicas (amostras deformadas). No momento da adubação tanto as áreas marcadas quanto as câmaras estáticas estavam fechadas. Para se ter o controle da quantidade de adubo aplicado, nesses dois locais as adubações foram realizadas manualmente (Figura 17D). A ureia aplicada foi quantificada em laboratório em balança de precisão. As coletas foram realizadas semanalmente com exceção aos períodos de adubação e precipitação, em que foram realizadas frequentemente até a estabilização desses eventos, no caso da adubação os fluxos foram amostrados sete dias consecutivos após a aplicação de ureia no solo.

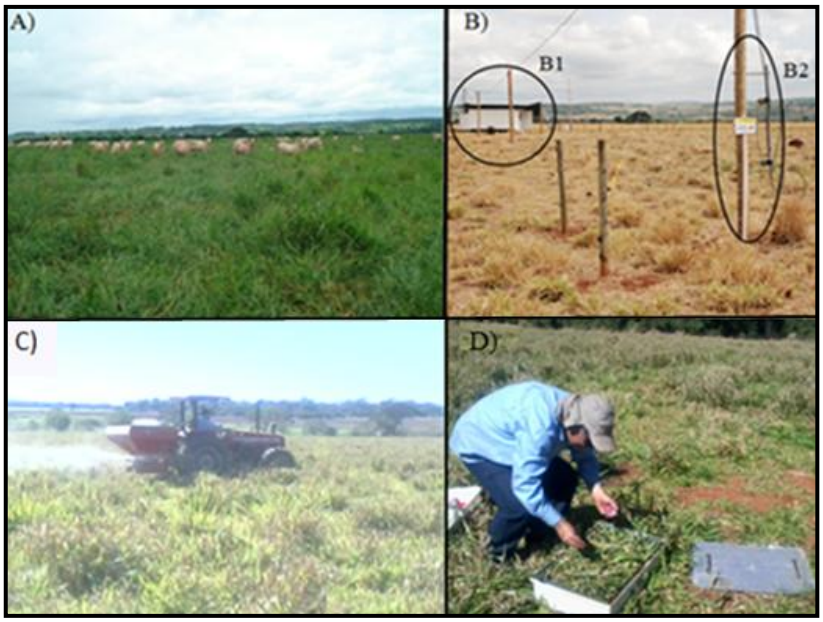

Figura 17. A) Estação chuvosa com animais em pastejo. B) Estação seca. B1 - laboratório móvel (*trailer*) onde está situado o analisador de gases. B2 - minitorre micrometeorológica. C) Adubação de cobertura feita a lanço. D) Adubação manual feita na área das câmaras estáticas.

4.2.2 O método micrometeorológico (fluxo-gradiente)

O método do fluxo-gradiente foi utilizado para determinar os fluxos verticais de N_2O ascendentes e descendentes dentro e acima da camada superficial. Geralmente o fluxo vertical (F) está associado ao coeficiente de difusão turbulento (K). Os fluxos de N_2O do solo sob pastagem foram calculados utilizando o método do fluxo-gradiente (Businger, 1973; Biscoe et al., 1975) [Eq. 3].

$$F = -K \frac{\partial C}{\partial z} \quad [Eq. 3]$$

em que F é o fluxo de N_2O (µmol m^{-2} s^{-1}), K é o coeficiente de difusidade turbulenta (m^{-2} s^{-1}) estimado utilizando o método do perfil do vento como descrito por Wagner-Riddle et al. (1996), e $\partial C / \partial z$ é o gradiente vertical da concentração de N_2O. O gradiente de concentração foi estimado utilizando a diferença de concentração (ΔC) que ocorre em uma distância vertical (Δz) (Maggiotto et al., 2000). O sinal negativo é adotado para que se tenha fluxos positivos quando direcionado para regiões de valores mais baixos, por isso o

método passou a ser conhecido como método do fluxo-gradiente abaixo (*down gradient flux*).

Para proceder o monitoramento dos fluxos de N_2O por meio da técnica do fluxo-gradiente foi necessária a instalação do equipamento analisador de gases traço com laser diodo ajustável (TGA200, Campbell Scientific, Logan, UT, USA), *datalogger* para armazenamento dos dados coletados (CR3000, Campbell, Scientific.) e os sistemas de controle (Figura 18).

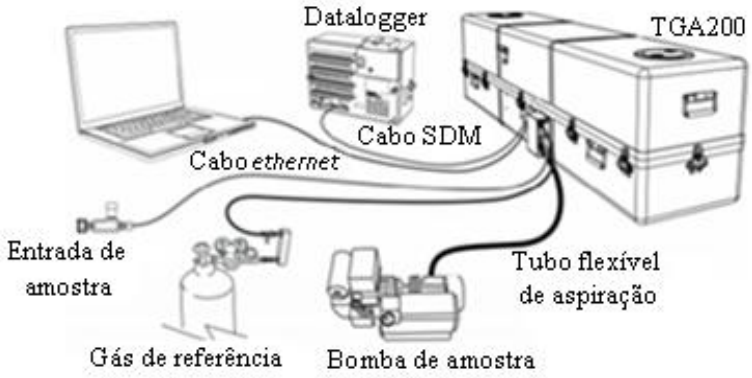

Figura 18. Esquema que representa os componentes do sistema "Analisador de gás-traço" (TGA200), adaptado de Campbell Scientific (2011).

A aproximadamente 100 m do *trailer* foi instalada a minitorre micrometeorológica com as entradas de ar atmosférico ajustadas a diferentes alturas da pastagem, com 40 cm de distância entre elas e a 40 cm acima da pastagem. Os amostradores realizavam a captura dos gases oriundos do sistema solo-planta-atmosfera. Pela diferença de concentração de N_2O obtidos nos dois amostradores (Figura 19) pôde-se estimar o fluxo do gás-traço de interesse, neste caso o N_2O. Conforme a direção dos fluxos determinou-se a ocorrência de efluxo ou influxo no sistema solo-planta-atmosfera. Os fluxos de N_2O na área da pastagem foram calculados a cada 30 minutos. Fez-se uma média dos valores obtidos em cada tempo de 30 minutos e determinou-se o fluxo médio de N_2O para cada dia.

No cálculo dos fluxos líquidos de N_2O presentes na atmosfera são necessários dados dos fluxos turbulentos do ar próximo aos pontos de captura dos gases. Estes dados foram adquiridos por meio de um anemômetro sônico (Figura 20) (CSAT3, Campbell Scientific) instalado próximo à torre de captura dos gases atmosféricos (Figura 19).

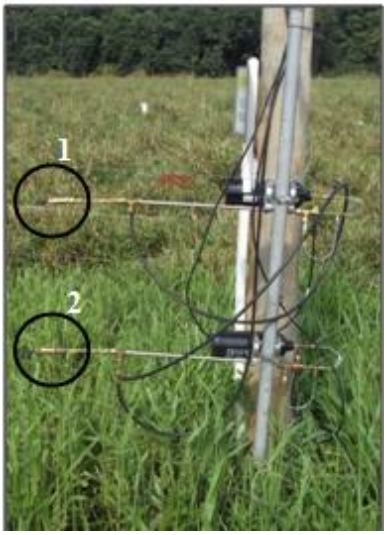

Figura 19. Minitorre micrometeorológica instalada na área sob pastagem, Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão. 1 e 2 - amostradores que capturam o gás presente na atmosfera.

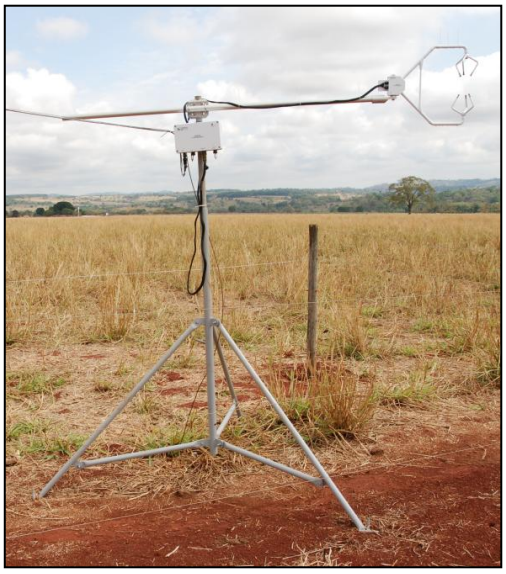

Figura 20. Anemômetro sônico instalado na área sob pastagem, Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão.

Para fins de comparação das metodologias testadas foram avaliados os mesmos dias de amostragem obtidos pelos dois métodos, foram comparados os valores médios diários de fluxos de N_2O obtidos pela técnica do fluxo-gradiente com os valores obtidos pelo método da câmara estática manual, cujas amostragens se concentrou no tempo das 10 h. A temperatura do ar e as precipitações foram monitoradas pela estação meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão.

4.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO

As avaliações físico-hídricas e químicas do solo foram realizadas através de amostras deformadas e indeformadas (Figura 21) coletadas na camada de 0 cm a 10 cm, totalizando 25 repetições na pastagem e cinco na floresta. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de Kopeck, 5 cm x 5 cm de altura e diâmetro, respectivamente (Figura 21B, 21C e 21D), e as amostras deformadas foram coletadas com o uso do trado calador (Figura 21A).

Figura 21. A) Coleta de amostra de solo deformada. B) Coleta de amostra de solo indeformada com o uso de anéis volumétricos. C) Preparo da amostra indeformada. D) Armazenamento da amostra de solo em filme plástico para preservar e evitar perdas de solo.

Nas amostras indeformadas foram determinadas: densidade do solo (Ds) [Eq. 4], porosidade total (PT) [Eq. 5], microporos (MiP) [Eq. 6], macroporos (MaP) [Eq. 7]. Os MiP e MaP foram determinados por meio da mesa de tensão a tensão de 0,06 atm. (Embrapa, 1997).

$$\text{Ds } (\text{g cm}^{-3}) = \frac{\text{massa de solo}}{\text{volume do cilindro}} \quad \text{[Eq. 4]}$$

$$\text{PT } (\%) = 100 \times \left(\frac{\text{massa amostra saturada } - \text{massa amostra seca}}{\text{volume do cilindro}}\right) \quad \text{[Eq. 5]}$$

$$\text{MiP } (\%) = 100 \times \left(\frac{\text{massa amostra mesa de tensão (0.06 atm.) } - \text{massa amostra seca}}{\text{volume do cilindro}}\right) \quad \text{[Eq. 6]}$$

$$\text{MaP}\ (\%) = \text{PT} - \text{MiP} \quad [\text{Eq. } 7]$$

Nas amostras deformadas foram determinados: nitrato e amônio, umidade atual do solo, pH, M.O., carbono e nitrogênio total (C e N total) do solo. As amostragens foram frequentes após as adubações e a períodos secos com ocorrências de precipitações (Tabela 7).

Tabela 7. Cronograma de amostragens de solo, amostras deformadas e indeformadas, realizadas na área sob pastagem e na área sob floresta no período de 5 de fevereiro a 30 de setembro de 2013.

Data de coleta	Dias Julianos	pH	EPPA	Amônio	Nitrato	Coleta de anéis volumétricos	M.O.	C e N total	Temperatura	
									solo	ar
05/02/2013	36	-	-	-	-	-	-	-	X	X
06/02/2013	37	-	-	-	-	X	X	-	-	-
16/02/2013	47	X	X	X	X	X	X	-	X	X
23/02/2013[1]	54	X	X	X	X	X	X	X	X	X
02/03/2013[2]	61	-	X	-	-	-	-	-	X	X
09/03/2013	68	-	X	-	-	-	-	-	X	X
12/03/2013	71	-	X	-	-	-	-	-	X	X
13/03/2013	72	-	X	-	-	-	-	-	X	X
14/03/2013	73	-	X	-	-	X	-	-	X	X
15/03/2013	74	-	X	-	-	-	-	-	X	X
16/03/2013	75	-	X	-	-	-	-	-	X	X
17/03/2013	76	-	X	-	-	-	-	-	X	X
18/03/2013	77	-	X	-	-	-	-	-	X	X
19/03/2013	78	X	X	X	X	-	X	X	X	X
20/03/2013	79	-	X	-	-	-	-	-	X	X
21/03/2013	80	-	X	-	-	-	-	-	X	X
22/03/2013	81	-	X	-	-	-	-	-	X	X
27/03/2013	86	-	X	-	-	-	-	-	X	X
04/04/2013	94	X	X	X	X	-	X	X	X	X
10/04/2013	100	-	X	-	-	-	-	-	X	X
17/04/2013	107	-	X	-	-	-	-	-	X	X
24/04/2013	114	-	X	-	-	-	-	-	X	X
15/05/2013	135	-	X	-	-	-	-	-	X	X
29/05/2013	149	-	X	-	-	-	-	-	X	X
05/06/2013	156	-	X	-	-	-	-	-	X	X
19/06/2013	170	-	X	-	-	-	-	-	X	X
03/07/2013	184	X	X	X	X	-	-	-	X	X
09/07/2013	190	X	X	X	X	-	-	-	X	X
10/07/2013	191	-	X	-	-	-	-	-	X	X

Continua...

Tabela 7. Continuação.

Data de coleta	Dias Julianos	pH	EPPA	Amônio	Nitrato	Coleta de anéis volumétricos	M.O.	C e N total	Temperatura	
									solo	ar
11/07/2013	192	X	X	X	X	-	-	-	X	X
12/07/2013	193	-	X	-	-	-	-	-	X	X
13/07/2013	194	X	X	X	X	-	-	-	X	X
14/07/2013	195	-	X	-	-	-	-	-	X	X
15/07/2013	196	X	X	X	X	X	-	-	X	X
18/07/2013	199	X	X	X	X	-	-	-	X	X
23/07/2013	204	X	X	X	X	-	-	-	X	X
26/07/2013	207	X	X	X	X	-	-	-	X	X
29/07/2013	210	X	X	X	X	-	-	-	X	X
01/08/2013	213	X	X	X	X	-	-	-	X	X
09/08/2013	221	X	X	X	X	-	-		X	X
14/08/2013	226	X	X	X	X	-	-		X	X
21/08/2013	233	X	X	X	X	-	-		X	X
28/08/2013	240	X	X	X	X	-	-		X	X
04/09/2013	247	X	X	X	X	-	-		X	X
18/09/2013	261	X	X	X	X	X	-		X	X
19/09/2013	262	-	X	-	-	-	-		X	X
20/09/2013	263	X	X	X	X	-	-		X	X
23/09/2013	266	-	X	-	-	-	-		X	X
25/09/2013	268	X	X	X	X	-	-		X	X
30/09/2013	273	X	X	X	X	-	-		X	X

[1]Início das amostragens na área sob floresta. No dia 02/03/2013 as amostragens foram realizadas somente na área sob pastagem. Nos demais dias foram realizadas amostragens na área sob pastagem e floresta.

Através da umidade atual do solo (U) [Eq. 8] e da densidade do solo foi possível calcular a porcentagem do EPPA por meio da equação descrita por Paul & Clark (1996) citada por Giacomini et al. (2006) [Eq. 9].

$$U\ (\%) = 100 \times \left(\frac{\text{massa amostra úmida} - \text{massa amostra seca}}{\text{massa amostra seca}}\right) \quad \text{[Eq. 8]}$$

$$\text{EPPA}\ \% = \frac{U \times DS}{1 - \left(\frac{DS}{DP}\right)} \quad \text{[Eq. 9]}$$

Em que U é a umidade atual do solo (%); Ds é a densidade do solo (g cm^{-3}) e Dp é a densidade de partículas do solo (g cm^{-3}).

Na realização das análises químicas de pH, M.O. e C e N total, as amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas em peneira de malha de 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA). O pH foi determinado pelo método potenciométrico utilizando um eletrodo de referência, um eletrodo indicador e um dispositivo de medida de potencial (Parron et al., 2011). O potencial eletrônico é apurado por meio de eletrodo imerso em suspensão aquosa numa proporção de sólido líquido de 1:2,5 (Embrapa, 1997).

A M.O. do solo foi determinada conforme o método de Walkley-Black modificado (Nelson & Sommers, 1996). Consiste na oxidação do carbono orgânico do solo pelo cromo hexavalente (Cr^{6+}) na presença de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, na qual o excesso de Cr^{6+} é titulado com ferro bivalente (Fe^{2+}).

Os teores de NO_3^- e NH_4^+ foram determinados através de análises quantitativas utilizando espectrometria UV-Vis acoplada a um sistema FIA (Flow Injection Analysis) (Ramos et al., 2009). Para preservar as amostras de solo estas foram transportadas do campo ao laboratório em caixa de isopor contendo gelo. O NO_3^- e o NH_4^+ foram extraídos do solo em solução de cloreto de potássio (KCl). Para isso pesou-se 20 g de solo num erlenmeyer adicionando 60 mL de KCl (2 mol L^{-1}). Posteriormente, a solução foi agitada por 1 h a 220 rotações por minuto, em seguida deixada em repouso por aproximadamente 40 minutos. Uma alíquota de 20 mL da solução foi pipetada e filtrada (Figura 22A) (Costa, 2011). Quando a quantificação não foi realizada imediatamente, o extrato filtrado foi acidificado e congelado a uma temperatura de < -4°C. Após obter os resultados da análise, estes foram corrigidos de acordo com a umidade atual do solo no momento da coleta para recebê-los em base de peso de solo seco.

O carbono e o nitrogênio total do solo foram determinados pelo método de combustão via seca a 925 ºC com o auxílio de um analisador elementar (Perkin Elmer CHNS/O 2400 Série II). Um software acoplado ao sistema comparou o pico de leitura do elemento conhecido com o do material padrão utilizado na calibração do aparelho. O aparelho foi calibrado a cada dez amostras com amostras-padrão do laboratório. As amostras analisadas previamente foram moídas e passadas em peneira de 60 µmesh (Figura 22B, 22C e 22D). Foram pesadas de 10 mg a 12 mg de solo em ultramicrobalança (precisão de 0,001 mg). As amostras foram colocadas em cápsulas de estanho.

Figura 22. A) Pipetagem e filtragem da solução extratora de NH_4^+ e NO_3^-. B) Moagem de solo no moinho de bolas. C) Preparo das amostras para serem peneiradas. D) Peneiramento de amostras de solo em peneira de 60 µmesh para determinação de C e N total. Análises realizadas no laboratório da Embrapa Arroz e Feijão.

4.4 ANÁLISE ESTÁTISTICA

Foram realizadas análises descritivas (média e erro padrão) dos valores dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas e químicas do solo. Com a finalidade de comparar os valores dos atributos físicos e químicos do solo obtidos em cada sistema, pastagem e floresta, foi aplicado o teste t nos dados que apresentaram distribuição normal e o teste de Mann-Whitney nos dados que apresentaram distribuição não normal. No estudo de comparação dos dois métodos de quantificação dos fluxos de N_2O ao longo do tempo foi realizado o teste de normalidade dos dados, e estes por não apresentarem normalidade foram comparados por meio da aplicação do teste não paramétrico de Wilcoxon - Pareado (α 0,01) e a correlação de Spearman. Correlação de Spearman foi aplicada entre os valores de fluxos de N_2O e as variáveis físicas e químicas do solo. As analises estatísticas foram realizadas por meio dos programas estatísticos Assistat e Action.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

As temperaturas médias do solo e do ar na área da pastagem (Figura 23A) no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) foram de 22,4ºC e 26,6ºC, respectivamente, e a temperatura do solo e do ar na área da floresta (Figura 23B) foram iguais, com médias de 20,4ºC. As temperaturas médias do ar e do solo sob pastagem sofreram oscilações e foram mais elevadas que as temperaturas médias do ar e do solo sob floresta.

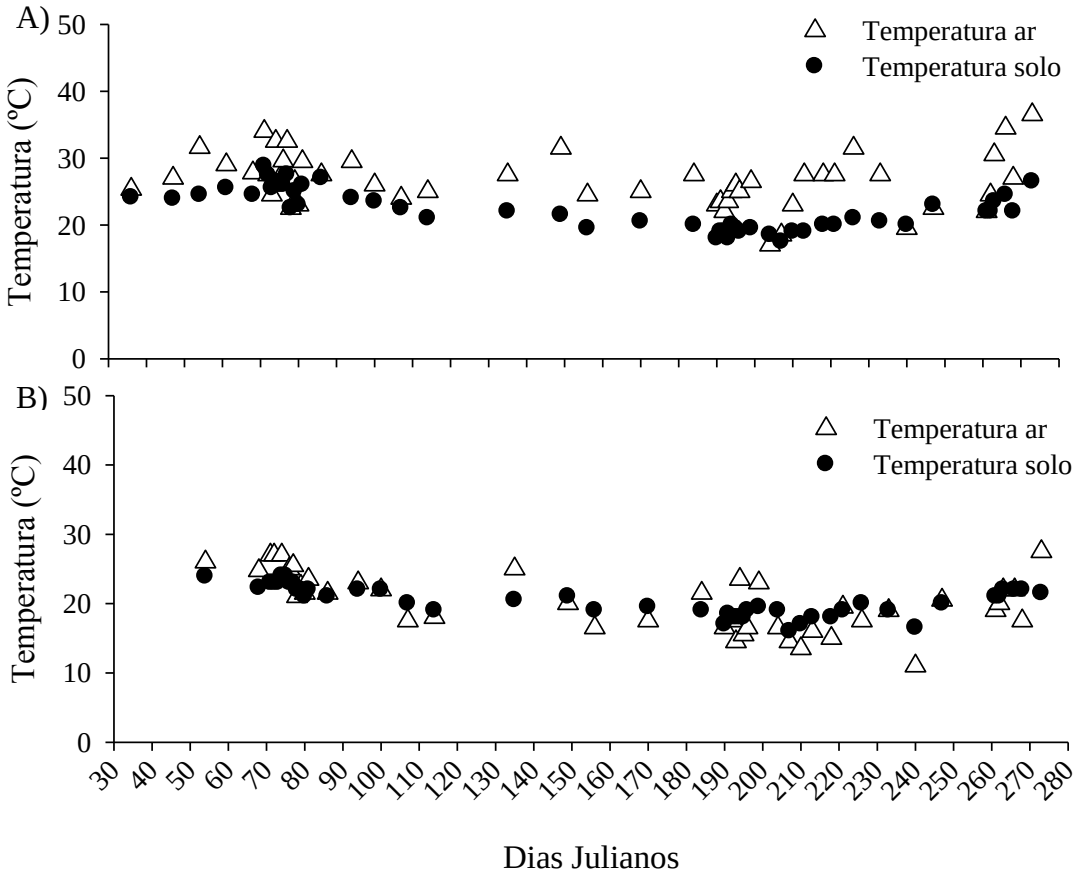

Figura 23. Temperaturas médias do ar e do solo na área da pastagem (A) e na área da floresta (B) no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.

As temperaturas mínimas e máximas do solo e do ar na área da pastagem oscilaram entre 17,5ºC e 17ºC no mês de julho a 28,8ºC e 36,5ºC no mês de março e setembro, respectivamente. Na floresta as temperaturas mínimas e máximas do solo e do ar oscilaram entre 16ºC e 11ºC nos meses de julho e agosto a 24ºC e 27,5ºC nos meses de março e setembro, respectivamente. Vários estudos de simulação numérica do clima em situações de floresta e desmatamento foram realizados, a exemplo dos estudos de Manzi (1993) e Lean et al. (1996).

Nobre et al. (1989) estudaram os impactos climáticos gerados pelo desmatamento e observaram o aumento da temperatura do ar em 1,3ºC. Este aquecimento deve-se provavelmente a uma maior fração de energia radiativa disponível para aquecer a superfície terrestre e o ar acima. Quanto ao balanço de energia na superfície (média espacial da área considerada) mostra que a radiação solar absorvida pela superfície é menor no caso desmatado (186 W m^{-2}) do que na área sob floresta (204 W m^{-2}).

Fisch et al. (1996) analisaram o comportamento de variáveis meteorológicas em áreas de floresta e pastagem utilizando-se de resultados gerados por Lean et al. (1996). Foi observado que a substituição da floresta pela pastagem provoca a nível sazonal redução no saldo de radiação de ondas curtas (8%) e total (3%), e aumento na temperatura média do ar (0,9ºC). Tais resultados corroboram os encontrados no presente estudo. As maiores temperaturas do ar observadas na área da pastagem deve-se provavelmente a menor absorção de energia solar pela superfície, resultando em maior energia radiativa para aquecer o solo e sua camada acima, provocando o aumento da temperatura.

As precipitações ocorreram no início e no final do período em estudo, sendo concentradas na estação chuvosa no mês de fevereiro a março com 81,2% das precipitações totais, e no mês de setembro, final da estação seca, com 18,8% das precipitações totais. A precipitação total durante o período em estudo foi de 665 mm.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E CERRADÃO

Muito se tem discutido sobre as vantagens do SILP em comparação a outros sistemas convencionais de uso do solo. Com o intuito de avaliar as alterações nas características físicas do solo sob o SILP, este foi comparado a uma área de referência (fragmento de floresta nativa). Os resultados das análises estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8. Variáveis físicas do solo sob pastagem do SILP e do solo sob floresta com suas respectivas médias e erros padrão (EP). Coletas de solo realizadas na camada de 0-10 cm no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.

Variáveis	Pastagem	Floresta
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,36a (EP ± 0,01)	0,96b (EP ± 0,01)
Porosidade total (%)	50,60a (EP ± 0,72)	56,02a (EP ± 2,60)
Microporos (%)	41,35a (EP ± 0,70)	30,45b (EP ± 0,09)
Macroporos (%)	9,25a (EP ± 0,83)	25,58a (EP ± 2,55)
EPPA (%)	57,18a (EP ± 2,10)	34,34b (EP ± 0,93)
Umidade atual do solo (%)	20,08b (EP ± 0,81)	22,66a (EP ± 0,67)

Variáveis seguidas por mesma letra minúscula, na linha, não apresentaram diferenças significativas, ao contrário, apresentaram diferenças significativas. O teste t foi aplicado para avaliar as variáveis que apresentaram distribuição normal (Ds, PT, MiP, e MaP), sendo considerados os níveis de 1% e 5% de probabilidade. As variáveis que apresentaram distribuição não normal (EPPA e Umidade atual do solo) foram avaliadas através do teste não paramétrico de Mann-Whitney aos níveis de 5% e 10% de probabilidade.

Os valores de Ds, MiP, EPPA e umidade atual do solo apresentaram diferenças significativas para os dois sistemas avaliados, pastagem e floresta, exceção a variável PT e MaP que não apresentaram diferenças significativas.

O solo sob floresta apresentou menor Ds e melhor distribuição dos valores de MaP e MiP quando comparados ao solo sob pastagem do ILP. Segundo Jorge et al. (2012) os solos do ambiente Cerrado são caracterizados por possuírem excelentes atributos físicos sob condições naturais, isso pode ser observado nos resultados encontrados, em que a área sob floresta nativa apresentou melhor estrutura física do solo. A Ds varia em função de diversos fatores como agregação do solo, compactação, porosidade, dentre outros (Bicalho, 2011). Em estudo anterior realizado na creche 4, Baptista (2012) obteve na camada de 0-5 cm e 5-10 cm Ds média de 1,33 g cm^{-3} e 1,34 g cm^{-3} no solo sob pastagem, e Ds média de 0,86 g cm^{-3} e 0,99 g cm^{-3} no solo sob floresta, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados na presente pesquisa (Tabela 8). A Ds é um atributo cujo valor varia dependendo do manejo adotado no sistema, sendo esse valor condicionado as condições estruturais e do estado de compactação do solo (Jorge et al., 2012).

A compactação dos solos agrícolas resulta da compressão do solo devido ao manejo adotado no sistema ou por meio do uso de operações mecanizadas, podendo ocorrer alterações na distribuição e no tamanho dos poros, e consequentemente, a tensão com que a água é retida (Larson & Gupta, 1980). Oliveira et al. (1983) relataram a influência do cultivo na estrutura do solo, sendo

constatados comportamentos semelhantes entre os agregados e a distribuição de poros. Esses autores observaram que houve diminuição dos MaP, aumento dos MiP e diminuição da agregação de solos cultivados em comparação a sua condição natural. Resultados semelhantes foram verificados na presente pesquisa quando a área sob pastagem foi comparada a área sob floresta nativa. Jorge et al. (2012) observaram em estudos que os tipos de uso e manejo do solo expressaram resultados inversos sobre os valores de MaP e Ds do solo, relatando que quando os valores de Ds eram maiores, menores eram os valores dos MaP, e maiores eram os valores de MiP, e em geral, independente da profundidade estudada.

Segundo Perecin & Campos (1978) o volume de poros é dependente do teor de argila dos solos. Esse fato leva a refletir sobre a ideia de que não só o manejo, mas também as frações que compõem o solo têm influência sobre os valores de MiP (Ferreira et al., 1999). Jorge et al. (2012) encontraram resultados de Ds e PT que associados a conclusão anterior indicam que os Latossolos apresentam certa estabilidade, e que provavelmente seja resultado da existência anterior de vegetação de Cerrado, e de suas propriedade físicas e mineralógicas que só são alteradas após longo tempo de uso do solo, mesmo quando submetidos a sistemas de manejos intensivos. Antes da adoção do SILP na área da pastagem estudada era utilizado o sistema convencional com revolvimento do solo (uma aração e duas gradagens), o que pode ter contribuído para alterar a estrutura do solo na área da pastagem em comparação a área da floresta.

O solo sob floresta apresentou menor EPPA médio em comparação ao solo sob pastagem (Tabela 8, Figura 24). A compactação do solo promove desequilíbrio entre a proporção de MaP e MiP a exemplo dos estudos de Oliveira et al. (1983) e Jorge et al. (2012), isso corrobora com os resultados encontrados na presente pesquisa, pois a maior quantidade de MiP no solo sob pastagem pode estar relacionada aos maiores valores de EPPA. Schreiner et al. (2011) observaram redução dos macroporos devido à deformação do solo pela aplicação de elevadas pressões (100 KPa e 200 KPa). As variações ocorridas no espaço poroso do solo em função do rearranjo da estrutura da matriz sólida podem provocar alterações entre a proporção de água e ar presente nos poros do solo. De acordo com Secco et al. (2004) a compactação provocada pelo uso agrícola geralmente ocasiona uma drástica redução

dos MaP do solo podendo haver maior volume de MiP com consequente aumento da capacidade de armazenamento de água.

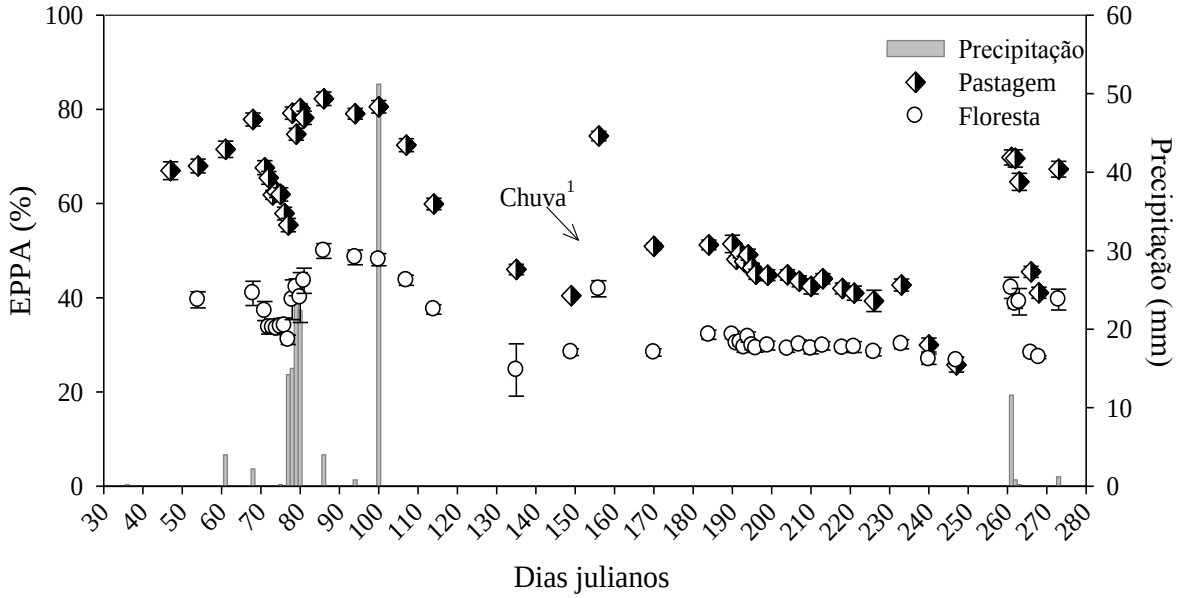

Figura 24. EPPA do solo sob pastagem e floresta, e precipitação. Dados referentes ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média. [1]No dia 3 de junho (154 dia juliano) ocorreu intensa precipitação nas áreas em estudo favorecendo o aumento do EPPA no dia 5 de junho (156 dia juliano).

O conteúdo de água no solo variou com os eventos de chuva. A umidade do solo na camada de 0-10 cm oscilou entre 9,1% (EP ± 0,51) a 29,5% (EP ± 0,32) no solo sob pastagem e 16,9% (EP ± 0,44) a 34% (EP ± 0,75) no solo sob floresta. Pode-se observar na Tabela 8 que os valores de umidade do solo encontrados na área da pastagem possuem média inferior aos encontrados na área da floresta, sendo observada diferença significativa. Schreiner et al. (2011) observaram que os valores de umidade vão diminuindo conforme aumenta a pressão aplicada no solo, isso se deve à saída de água dos poros com consequente aumento do espaço aéreo. Esse comportamento está relacionado com o processo de compactação do solo que promove a redução da macroporosidade e PT. Tais resultados foram observados no presente estudo.

5.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO NO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E CERRADÃO

É sabido que os diferentes tipos de manejo adotados nos sistemas agrícolas provocam alterações nos atributos químicos do solo influenciando o comportamento e a magnitude dos fluxos de GEE. Por isso é relevante comparar o SILP com um sistema referência e aferir quais foram as propriedades químicas que sofreram alterações em função do uso do solo ao longo do tempo. Os resultados das análises estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9. Variáveis químicas do solo sob pastagem do SILP e do solo sob floresta com suas respectivas médias e erros padrão (EP). Coletas de solo realizadas na camada de 0-10 cm no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.

Variáveis	Pastagem	Floresta
pH	5,80a (EP ± 0,02)	4,64b (EP ± 0,03)
M.O.	34,35a (EP ± 0,38)	35,48a (EP ± 1,35)
Carbono Total (g kg^{-1})	22,90a (EP ± 0,18)	25,22a (EP ± 0,54)
Nitrogênio Total (g kg^{-1})	1,55a (EP ± 0,04)	1,67a (EP ± 0,04)
Relação C_t/N_t	14,78a (± 0,26)	15,09a (± 0,33)
NO_3^- (mg N-NO_3^- kg^{-1})	3,10a (EP ± 0,99)	7,08a (EP ± 1,85)
NH_4^+ (mg N-NH_4^+ kg^{-1})	35,82a (EP ± 5,49)	10,90b (EP ± 1,99)

Variáveis seguidas por mesma letra minúscula, na linha, não apresentaram diferenças significativas, ao contrário, apresentaram diferenças significativas. O teste t foi aplicado para avaliar as variáveis que apresentaram distribuição normal (M.O, Carbono Total, Nitrogênio Total, Relação Ct/Nt), sendo considerados os níveis de 1% e 5% de probabilidade. As variáveis que apresentaram distribuição não normal (pH, NH_4^+, NO_3^-) foram avaliadas através do teste não paramétrico de Mann-Whitney aos níveis de 5% e 10% de probabilidade.

Os teores de NH_4^+ prevaleceram sobre os teores de NO_3^- nos dois sistemas avaliados (Tabela 9), foram observadas diferenças significativas entre os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo sob floresta e no solo sob pastagem. Costa (2011) constatou para essa mesma área sob floresta o predomino de NH_4^+ em relação a NO_3^- com concentrações máximas de 12,48 mg N-NH_4^+ kg^{-1} e 2,67 mg N-NO_3^- kg^{-1}.

O solo sob pastagem apresentou maior teor médio de NH_4^+ em comparação ao solo sob floresta (Tabela 9). Provavelmente as adubações nitrogenadas e a deposição de fezes e urina pelos animais na área da pastagem favoreceram o maior acúmulo de NH_4^+ no solo. Cenciani (2007) observou maior concentração de NO_3^- no solo sob floresta, enquanto o NH_4^+ foi a forma de nitrogênio mineral predominante na área da pastagem e da capoeira,

tais resultados corroboram os encontrados no presente estudo. Gramíneas como a *Urochloa* e o capim-colonião apresentam altas taxas de crescimento e são eficientes na absorção de NH_4^+ (Neill et al., 1999; Garcia-Montiel et al., 2001). Cenciani (2007) observou a presença de bactérias oxidadoras de NH_4^+ na área da pastagem e da capoeira, o que permitiu relacionar as baixas taxas de nitrificação à elevada demanda de nitrogênio mineral pelas gramíneas, resultando em sua rápida absorção pela planta e/ou imobilização microbiana.

Na nitrificação ocorre a liberação de dois átomos de hidrogênio para cada molécula de NH_4^+ nitrificada. A deposição de resíduos que produzem grande quantidade de NH_4^+por muitos anos podem contribuir para a diminuição do pH (Ernani, 2003). Esse fenômeno pode ter ocorrido no solo sob floresta (Tabela 9). Baptista (2012) observou resultados semelhantes para a mesma área utilizada na presente pesquisa como pH de 4,5 no solo sob floresta e pH de 5,4 no solo sob pastagem.

Estudos a exemplo de Sidiras & Pavan (1985) indicam que o sistema de plantio direto consolidado demanda menores teores de calcário, e que em contrapartida o teor de alumínio trocável e a porcentagem de saturação da CTC efetiva por alumínio tendem a diminuir com o decorrer dos anos de implantação do sistema. O alto teor de M.O. e o aporte de resíduos vegetais e animais mantidos na superfície do solo no SILP pode ter favorecido o aumento e a manutenção dos níveis de pH na área sob pastagem que apresentou maior valor médio quando comparada a área sob floresta (Tabela 9, Figura 25).

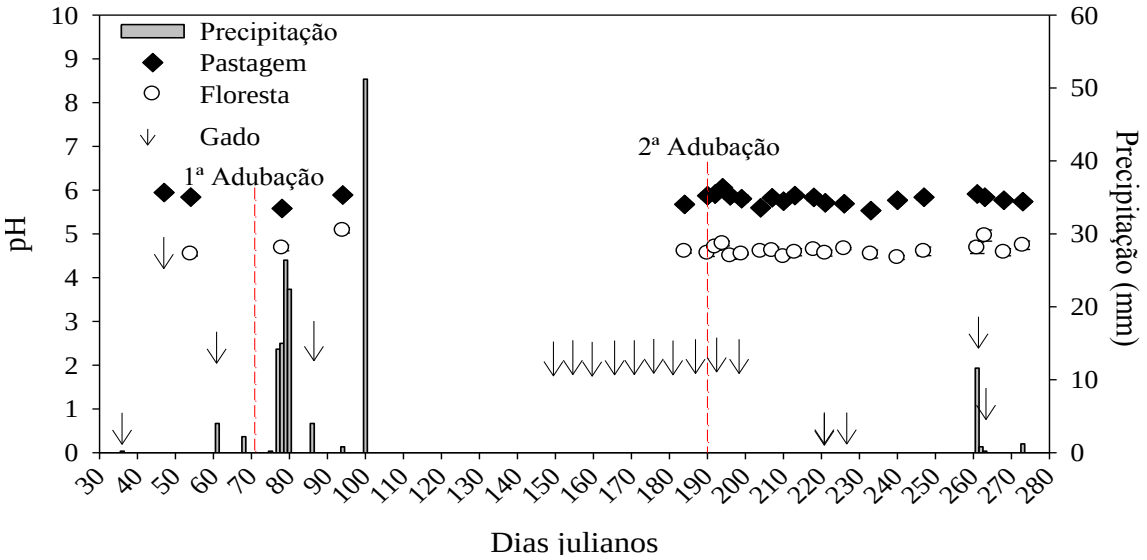

Figura 25. pH na área sob pastagem e floresta, precipitação, e animais em pastejo na área sob pastagem, no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Na estação seca foi observada liberação gradual de NH_4^+ após a adubação nitrogenada realizada no solo sob pastagem, entretanto, decorrida uma semana da adubação houve queda nesses teores (Figura 26A). Ainda na estação seca, a presença do gado com a deposição de resíduos orgânicos no solo pode ter favorecido o aumento dos teores de NH_4^+ no solo (Figura 26A).

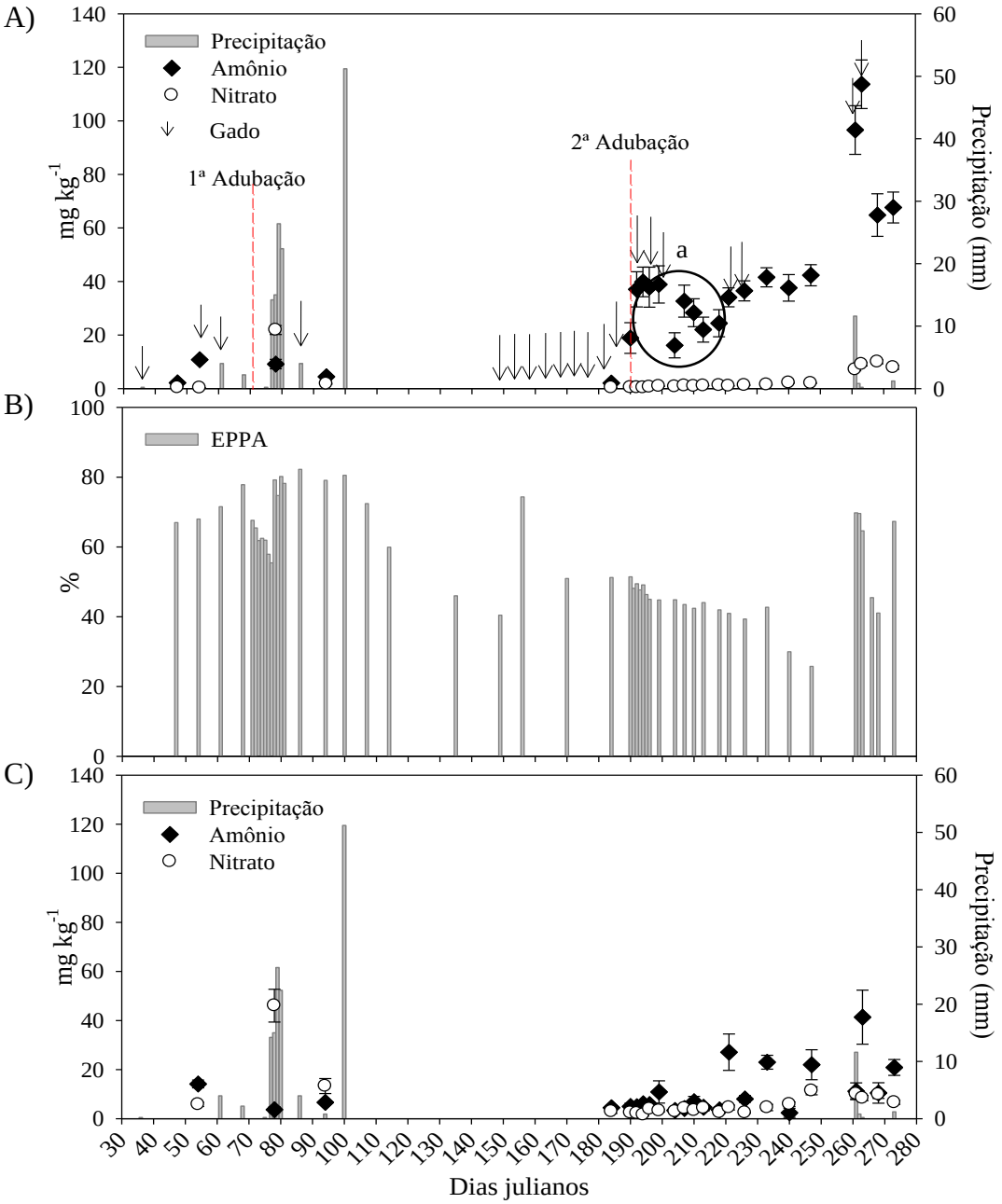

Figura 26. A) Teor de amônio e nitrato, precipitação e presença do gado no solo sob pastagem. B) EPPA do solo sob pastagem. C) Teor de amônio e nitrato, e precipitação no solo sob floresta. Avaliações no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. a - redução do teor de amônio após a 2º adubação de cobertura. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Com as precipitações no final da estação seca houve aumento nos teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo favorecidos pela decomposição da palhada e dos restos orgânicos dos animais (fezes e principalmente urina) (Figura 26A e 26B), como relatado por Lessa et al. (2014). O aumento nos teores de NH_4^+ e NH_3^+ também foram observados no solo sob floresta, porém, em menores magnitudes (Figura 26C).

O teor de C_t diminuiu em função do uso do solo e os maiores valores foram observados no solo sob floresta (Tabela 9), porém não foi observada diferença significativa entre os valores encontrados no solo sob floresta e sob pastagem. O aporte de material orgânico e a deposição de fontes nitrogenadas no solo sob pastagem favoreceu a relação Ct/Nt sendo comparável ao solo sob floresta. Segundo Jakelaitis et al. (2008) a diminuição do teor de C_{org} nos solos sob cultivos pode ser atribuída ao aumento no consumo de carbono disponível pela biomassa microbiana, pelo sistema de produção e pelo manejo adotado. A qualidade do material aportado e a influência de fatores edáficos sobre a microbiota do solo e sobre a taxa de decomposição dos resíduos devem ser consideradas (Costa, 2005). As perdas de C_t no solo sob pastagem em relação ao solo sob floresta foram da ordem de 9,2%. O carbono estimula a atividade microbiana afetando a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação de nitrogênio do solo, o qual poderá ser emitido à atmosfera na forma de N_2O (Zanatta, 2009).

5.4 QUANTIFICAÇÃO DOS FLUXOS DE N_2O PELO MÉTODO DA CÂMARA ESTÁTICA MANUAL

Segundo Parkin & Venterea (2010) os fluxos de gases-traço obtidos pelo método da câmara estática manual apresentam altos coeficientes de variação, podendo ser superiores a 100%. Isso foi observado no presente estudo, por exemplo, no solo sob pastagem, o coeficiente de variação (CV) dos fluxos de N_2O com valor médio de 164,84 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} (EP ± 106,80) obtido no dia 9 de março (68 dia juliano) (Figura 27A) foi igual a 242,42%, e no dia 18 de setembro (261 dia juliano) (Figura 27B) igual a 63,16%. Pode-se observar que o CV é menor quando os valores de fluxos são maiores, o que se deve a menor variabilidade entre os valores de fluxos obtidos nos diferentes pontos de amostragem. Durante o período do estudo o maior fluxo de N_2O foi obtido no dia 18 de setembro (261 dia juliano) com magnitude média de 1045,22 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} (EP ± 155,61).

Pode ser observado na Figura 27B que a presença de fezes, urina, formigueiro ou desnível do solo, podem afetar os fluxos de N_2O. Segundo Davidson & Swank (1986) no estudo da variabilidade dos fluxos é relevante considerar a posição que determinada área ocupa no relevo, pois os locais mais baixos são mais úmidos e apresentam maior quantidade de M.O. que as áreas superiores do relevo, e portanto, o potencial para respiração microbiana e consumo de oxigênio é incrementado, o que irá influenciar os processos de produção de N_2O no solo.

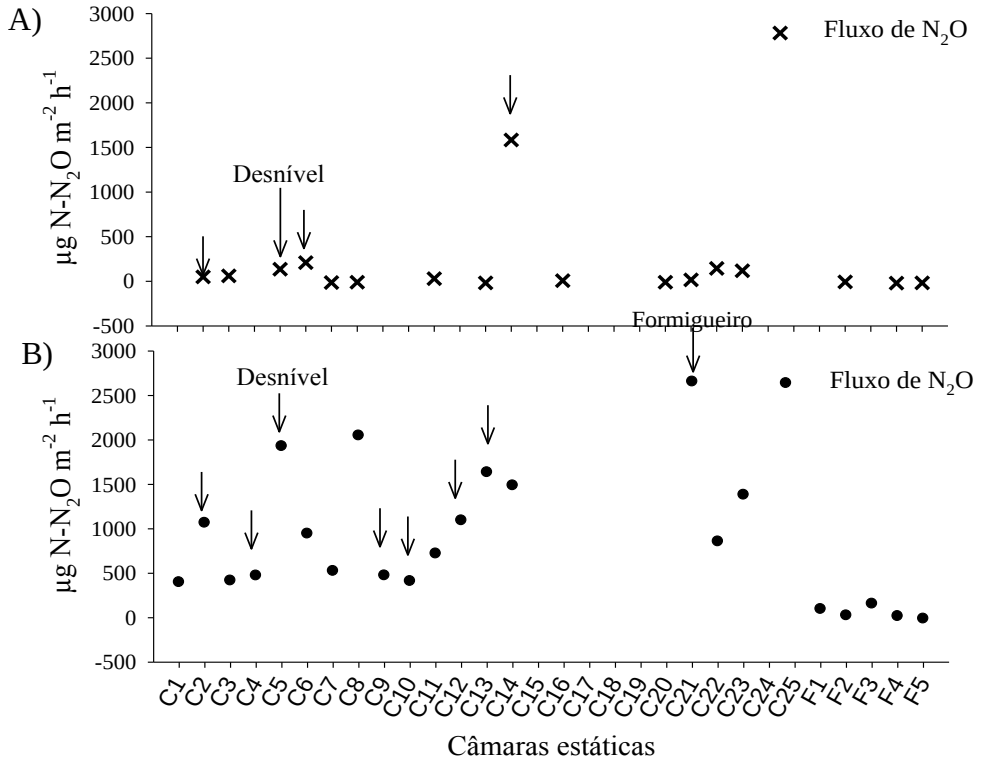

Figura 27. Fluxos de N_2O em um dia de coleta na estação chuvosa (A), dia 9 de março (68 dia juliano) de 2013, e na estação seca (B), dia 18 de setembro (261 dia juliano) de 2013. As setas indicam presença de fezes, formigueiro dentro da câmara ou local com desnível do solo. *C1 a C25 - repetições de câmaras estáticas na área sob pastagem. *F1 a F5 - repetições de câmaras estáticas na área sob floresta.

Foi observado que em alguns conjuntos de dados a concentração de N_2O (ppb) amostrada estava abaixo do limite mínimo de detecção do cromatógrafo no caso de fluxos positivos, e acima do limite mínimo de detecção do cromatógrafo no caso de fluxos negativos (Tabela 10). Com base nos estudos de Gilbert (1987) citado por Parkin & Venterea (2010) para tais conjuntos de dados uma opção seria reportar o valor atual da medição, isso foi admitido no estudo.

Tabela 10. Limites mínimos de detecção dos métodos de regressão linear (RL) e Hutchinson & Mosier (HM) para os intervalos de tempo adotados no experimento (0, 15 e 30 minutos).

Data de amostragem	Precisão Analítica (%CV)	Limite mínimo de detecção (ppb/hora): taxa para 3 pontos de dados			
		RL	HM	RL	HM
		Pastagem		Floresta	
05/02/13	0,05	100,71	-	-	-
16/02/03	0,08	100,66	907,68	-	-
23/02/13	0,05	110,84	-	126,58	-
02/03/13	0,06	77,72	-	-	-
09/03/13	0,10	132,47	530,72	131,15	-
12/03/13	0,05	64,95	-	68,10	-
13/03/13	0,04	47,19	-	49,65	-
14/03/13	0,04	55,53	-	54,49	-
15/03/13	0,02	25,59	-	31,63	-
16/03/13	0,05	66,17	-	68,51	-
17/03/13	0,07	99,49	-	96,55	-
18/03/13	0,03	37,52	-	38,74	-
19/03/13	0,05	70,99	284,42	73,26	-
20/03/13	0,03	47,23	189,22	41,37	165,73
21/03/13	0,06	91,45	366,37	83,44	-
22/03/13	0,07	108,50	434,71	102,22	-
27/03/13	0,03	40,14	160,82	36,77	-
04/04/13	0,04	60,25	241,38	58,05	-
10/04/13	0,05	51,34	196,34	62,11	-
17/04/13	0,05	73,51	294,49	38,55	154,46
24/04/13	0,07	69,41	-	117,21	-
15/05/13	0,05	54,00	-	55,60	-
29/05/13	0,05	60,02	-	53,89	215,92
05/06/13	0,04	49,70	199,13	46,18	-
19/06/13	0,04	47,58	-	44,68	-
03/07/13	0,15	174,43	-	171,11	-
09/07/13	0,25	394,26	-	360,56	-
10/07/13	0,16	111,88	-	58,62	-
11/07/13	0,07	69,91	-	60,95	-
12/07/13	0,13	284,11	1138,25	69,49	-
13/07/13	0,05	53,31	-	55,68	-
14/07/13	0,05	50,57	-	49,47	-
15/07/13	0,06	51,37	-	67,27	-
18/07/13	0,12	240,50	-	69,17	-
23/07/13	0,06	64,29	-	65,88	-
26/07/13	0,07	141,62	567,40	54,57	-
29/07/13	0,07	99,38	-	53,16	-
01/08/13	0,07	64,17	-	124,96	-
06/08/13	0,06	71,03	-	123,90	-
09/08/13	0,03	26,69	-	26,81	-

Continua...

Tabela 10. Continuação.

Data de amostragem	Precisão Analítica (%CV)	Limite mínimo de detecção (ppb/hora): taxa para 3 pontos de dados			
		RL	HM	RL	HM
		Pastagem		Floresta	
14/08/13	0,06	90,06	-	62,30	-
21/08/13	0,06	61,70	-	64,17	-
28/08/13	0,09	112,47	789,74	40,55	-
04/09/13	0,10	153,96	-	63,44	-
18/09/13	0,11	229,89	921,00	149,75	599,96
19/09/13	0,03	52,74	211,29	23,33	-
20/09/13	0,03	21,56	86,38	56,05	-
23/09/13	0,03	30,29	-	23,75	-
25/09/13	0,02	27,12	-	25,95	-
30/09/13	0,06	92,43	370,30	68,56	-

Na determinação dos limites mínimos e máximos de detecção foram admitidos os valores médios observados em cada dia de coleta. Para obter os limites máximos de detecção dos fluxos negativos basta multiplicar os limites mínimos de detecção por -1.

Após os cálculos dos valores de fluxos de N_2O foram adotados critérios de utilização de dados. No primeiro critério, em que todos os dados foram utilizados (Figura 28A), houve subestimação dos valores de fluxos quando comparado aos critérios 2 e 3. O segundo critério (R^2<0,80 = fluxo 0) (Figura 28B) subestimou os valores de fluxos quando comparado ao critério 3. O valor zero adotado subestimou os valores de fluxos positivos e negativos, essa relação favoreceu o aumento da média dos fluxos em relação ao critério 1. Com a adoção do valor zero verificou-se menor erro padrão em comparação aos critérios 1 e 3, o que pode ser explicado pela redução da variabilidade existente entre as repetições de dados. O terceiro critério (R^2<0,80 = dados faltantes/errôneos) (Figura 28C) gerou o maior valor médio de fluxo. Dados não ajustáveis ao modelo linear (baixo R^2) estariam subestimando os valores de fluxos. O erro padrão neste caso foi maior que o observado nos critérios 1 e 2. Os maiores valores de fluxos aumentaram a variabilidade existente entre as repetições de dados.

Para efeitos de comparação das metodologias, câmaras estáticas manuais e fluxo-gradiente, foi considerado o critério de utilização de dados que menos subestimou os valores de fluxos de N_2O, neste estudo, o critério 3 (Figura 28C).

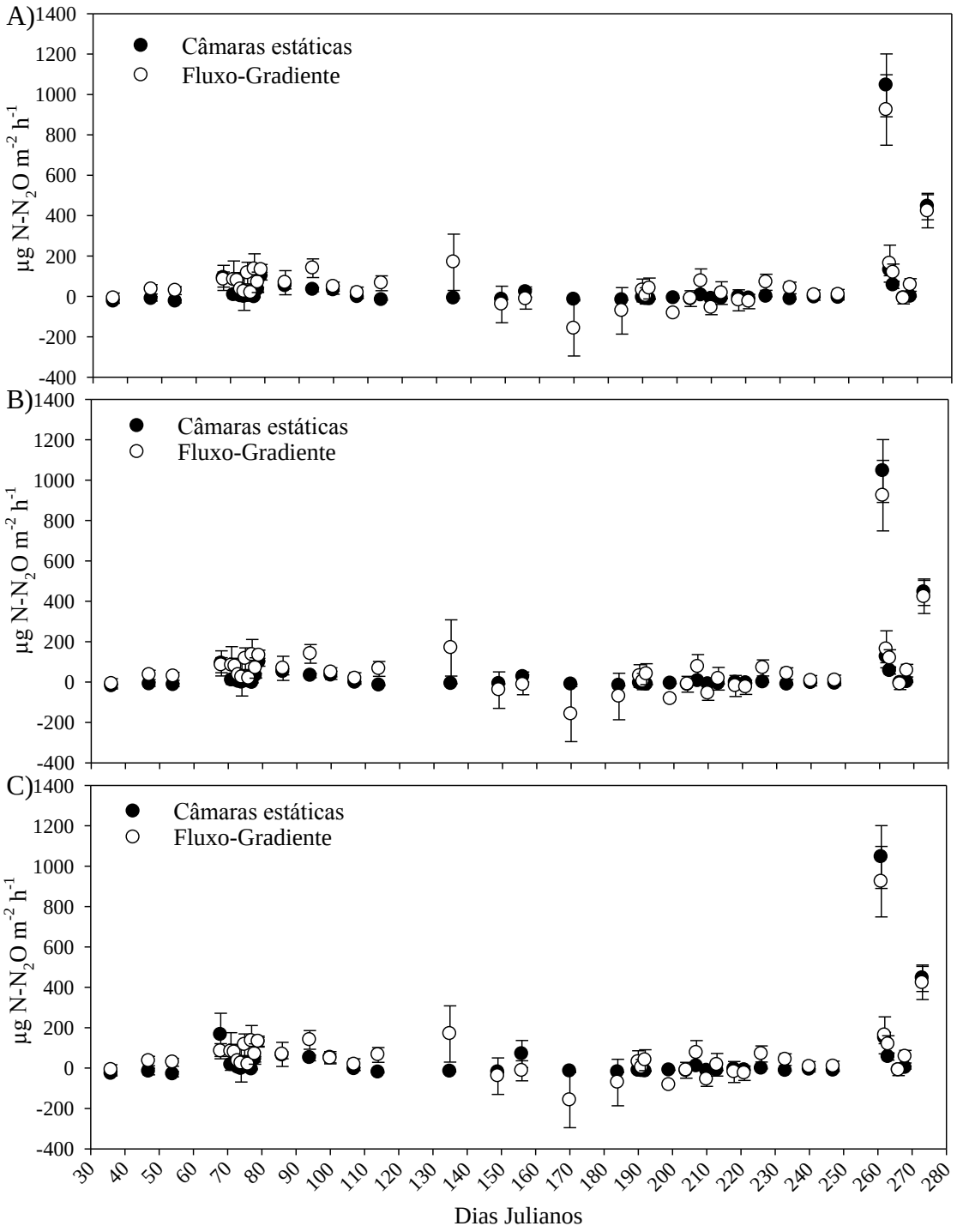

Figura 28. Fluxos de N_2O na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013, dados obtidos pelo método da câmara estática e fluxo-gradiente. A) 1º Critério de utilização de dados. B) 2º Critério de utilização de dados. C) 3º Critério de utilização de dados. Barras verticais representam o erro padrão da média.

5.5 FLUXOS DE N_2O POR DOIS MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO: CÂMARAS ESTÁTICAS MANUAIS E FLUXO-GRADIENTE

No presente estudo os valores de fluxos de N_2O obtidos pelo método do fluxo-gradiente (FG) superaram os valores de fluxos obtidos pelo método da câmara estática manual. Os valores médios de fluxos de N_2O amostrados com câmaras estáticas manuais no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013 variaram de -30,27 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} a 1.045,22 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} (EP ± 22,99) pelo terceiro critério de utilização de dados (Figura 30). Os valores obtidos pela técnica do FG variaram de -158,76 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} à 923,30 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} (EP ± 24,22) (Figura 29).

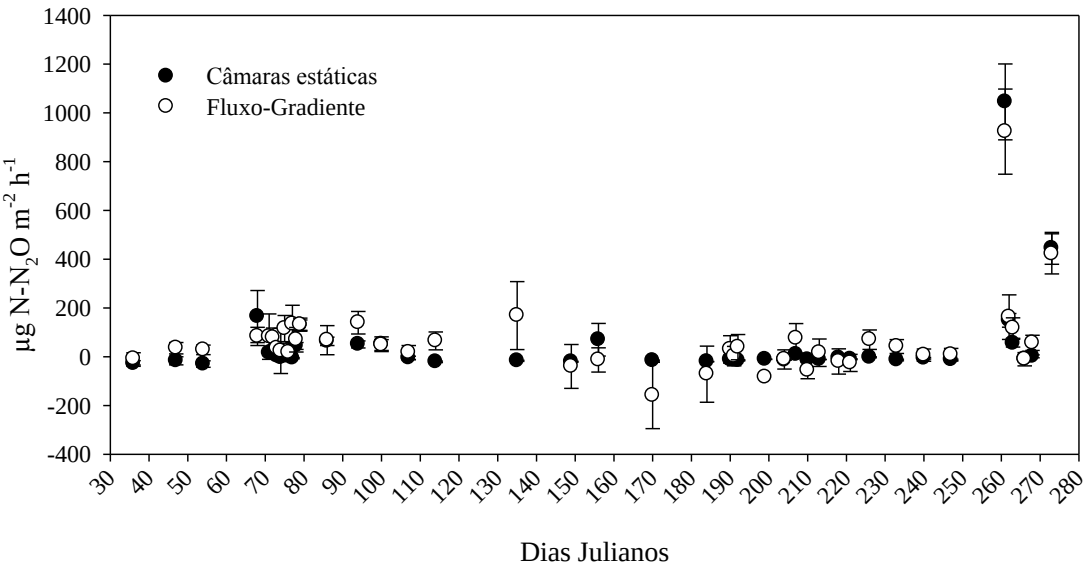

Figura 29. Valores médios dos fluxos de N_2O obtidos pelo método da câmara estática pelo terceiro critério de utilização de dados, e método do fluxo-gradiente. Dados referente ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (36 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média.

A média dos valores de fluxos de N_2O obtidos no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013 pelo método da câmara estática manual foi comparada estatisticamente à média dos valores de fluxos de N_2O obtidos em igual período pela técnica do FG e não foi observada diferença significativa entre as técnicas (Tabela 11), sendo os métodos comparáveis. A correlação de Spearman entre os

valores médios dos fluxos de N_2O obtidos pelo método da câmara estática manual e FG foi de 0,59, sendo positiva e significativa (p-valor < 0,05) (Figura 30).

Tabela 11. Aplicação do teste de Wilcoxon - Pareado (α 0,01) na comparação dos dois métodos de quantificação, câmaras estáticas manuais e fluxo-gradiente.

teste de Wilcoxon - Pareado			
Diferença	GL	V	P-valor
CE e FG	42	285	0,022

GL: grau de liberdade; CE: câmara estática manual; FG: fluxo-gradiente; P: probabilidade.

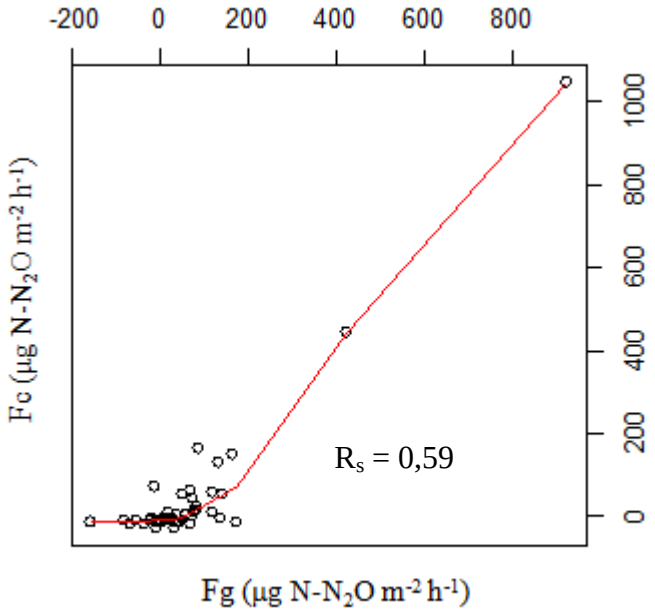

Figura 30. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O obtidos pelo método da câmara estática manual e do fluxo-gradiente.

Em 69,77% de todas as medições os valores médios de fluxos de N_2O obtidos pelo método do FG foram superiores aos obtidos pelo método da câmara estática manual. Jones et al. (2011) compararam o método da câmara estática com a técnica micrometeorológica *eddy-covariance* (EC) nos anos de 2003, 2007 e 2008, e constataram que cerca de 70% dos fluxos de N_2O medidos com EC estavam dentro do intervalo de medições das câmaras estáticas em todos os períodos de comparação. Smith et al. (1994) encontraram resultados semelhantes aos estudos de Jones et al. (2011).

Christensen et al. (1996) e Laville et al. (1997) encontraram concordância razoável entre os fluxos medidos pelos dois métodos de quantificação, câmaras estáticas e EC. Wang et al. (2013) observou uma comparação confiável entre as duas técnicas,

câmaras estáticas e EC, limitada ao período de fluxos elevados, durante a qual os fluxos obtidos por meio das câmaras estáticas foram 17% a 20% menores do que os fluxos obtidos pelo EC. Essa diferença pode implicar na magnitude de subestimação sistemática dos fluxos obtidos por meio das câmaras estáticas. Tais resultados corroboram os encontrados na presente pesquisa.

No cálculo das emissões totais foram utilizadas regressões embasadas nas magnitudes dos dias amostrados para preencher os dias não amostrados. No caso dos dados obtidos pelo método da câmara estática manual o preenchimento dos dias não amostrados foi feito levando em consideração as adubações de cobertura e a ocorrência de precipitações.

A emissão total no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) obtida pelo método da câmara estática foi de 1644,19 g $N\text{-}N_2O$ ha^{-1} e pelo método do FG foi de 2.255,02 g $N\text{-}N_2O$ ha^{-1} (Figura 31). O método da câmara estática subestimou a emissão de N_2O em 27,09% quando comparado ao método do FG.

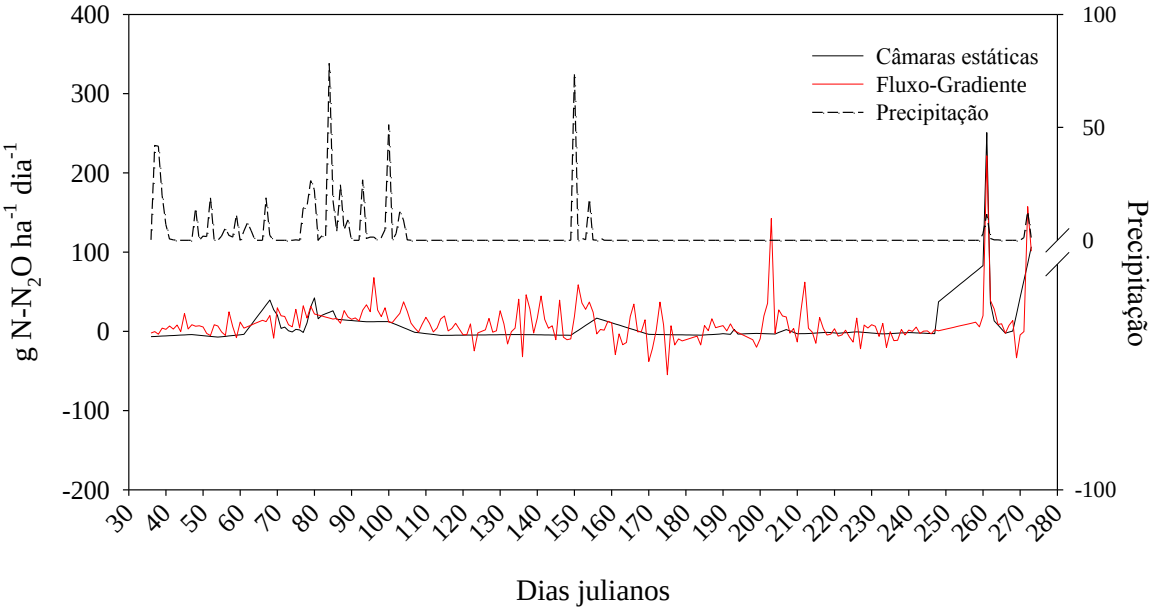

Figura 31. Estimativa dos fluxos de N_2O pelo método da câmara estática manual e fluxo-gradiente, e dados pluviométricos, no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.

A câmara estática manual é uma metodologia que demanda tempo, com logística mais complicada do que a do método do FG. Enquanto que com as câmaras estáticas manuais na maioria das vezes não é possível obter mais de uma medição por dia, com o método do FG os fluxos são calculados várias vezes ao dia, no caso deste estudo para cada meia hora, possibilitando a obtenção de dados mais confiáveis e mais frequentes.

Para calcular a emissão total referente a certo período é necessário estimar fluxos dos dias que não foram medidos, no caso das câmaras estáticas há maior quantidade de dias a serem estimados. Isso pode gerar incertezas em torno do valor de emissão calculado, cabendo aqui, estudos mais aprofundados.

5.6 COMPORTAMENTO DOS FLUXOS DE N_2O NA PASTAGEM E NO CERRADÃO

Como na área sob floresta a instalação do TGA não foi possível, nesta parte do estudo, somente os resultados obtidos com câmaras estáticas manuais foram discutidos. Entre os fatores que influenciaram os fluxos de N_2O podem ser citados os fatores edáficos, como a presença de animais na área e as intervenções antrópicas por meio da realização de adubação nitrogenada, e os fatores climáticos que variam conforme o período do ano, a exemplo da ocorrência de precipitação e as oscilações de temperatura do ar e do solo. Os fluxos médios de N_2O foram: 43,99 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} (EP ± 22,99) na área sob pastagem e -8,82 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} (EP ± 2,17) na área sob floresta (Figura 32). No solo sob floresta não houve emissão de N_2O para a atmosfera.

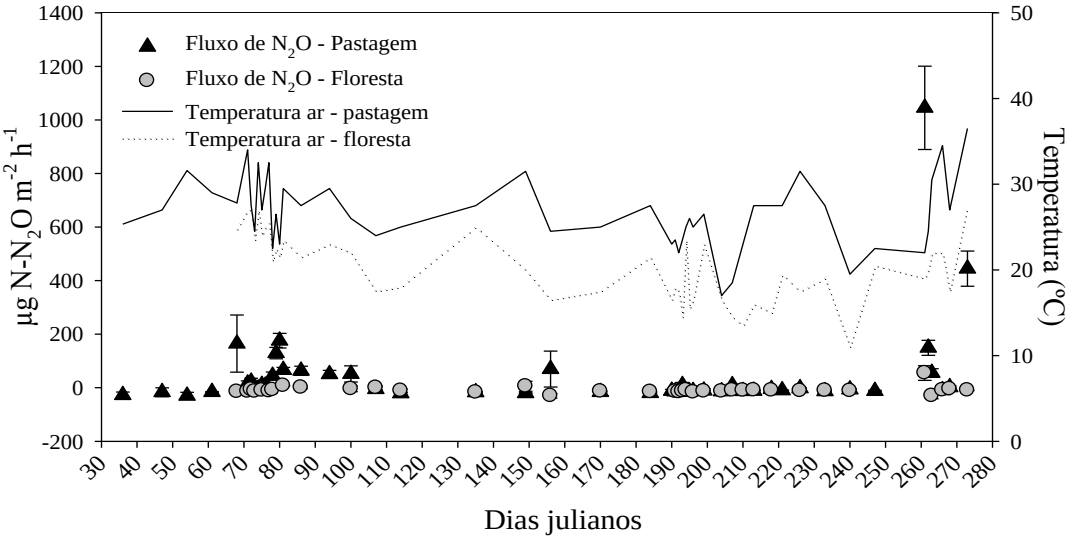

Figura 32. Fluxos de N_2O na área sob pastagem e floresta e respectivas temperaturas do ar. Dados referentes ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Foram realizadas correlações entre os fluxos de N_2O e as variáveis físicas e químicas do solo sob pastagem, a fim de definir as variáveis que apresentaram correlação

positiva com os fluxos de N_2O obtidos pelo método da câmara estática manual. Os fluxos de N_2O no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013 apresentaram correlação positiva com o teor de NO_3^-, EPPA e temperatura do solo (Tabela 12).

Tabela 12. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas e químicas do solo na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.

Variável/Variável	N_2O	pH	EPPA	NH_4^+	NO_3^-	Temperatura	
						solo	ar
N_2O	1	-0,0922	0,5381	0,4035	0,8478	0,3967	0,0342
pH	ns	1	0,3584	0,0383	-0,3093	0,0591	-0,0597
EPPA	**	ns	1	-0,2635	-0,0974	0,5648	0,1159
NH_4^+	ns	ns	ns	1	0,4765	0,1471	-0,0109
NO_3^-	**	ns	ns	*	1	0,3979	0,0354
Temperatura do solo	**	ns	**	ns	ns	1	0,6202
Temperatura do ar	ns	ns	ns	ns	ns	**	1

**Correlação positiva e significativa para p-valor <= 0,01. *Correlação positiva e significativa para p-valor >0,01 e <=0,05. ^{ns}Correlação não significativa.

O maior teor de NH_4^+ na área sob pastagem deve-se a maior disponibilidade de nitrogênio mineral pela aplicação de ureia e de nitrogênio orgânico pela deposição de fezes e urina no solo pelos animais em pastejo (Figura 33B). O NH_4^+ quando disponível no solo favorece a formação de N_2O (Figura 33A e 33B) tanto por processos biológicos servindo de substrato para as reações de nitrificação, quanto por processos não biológicos. No decorrer do processo de nitrificação a concentração de NO_3^- aumenta inicialmente à medida que o NH_4^+ vai sendo oxidado, e diminui a medida que o NO_3^- é formado, contudo, em condições de anaerobiose as taxas de oxidação de NH_4^+ e NO_2^- permanecem constantes, nessas condições o NO_2^- que é um composto tóxico no solo (Khalil et al., 2004) pode ser acumulado e usado alternativamente pelos nitrificadores como aceptor final de elétrons levando a formação de NO e N_2O (Snyder et al., 2009).

A temperatura e a umidade são fatores que influenciam os processos biológicos do solo, pois afetam a atividade dos microrganismos que realizam tais processos. O EPPA está correlacionado positivamente ao C disponível e ao potencial de mineralização, sendo evidenciado o estímulo da umidade do solo à atividade microbiana e as reações que produzem N_2O (Davidson & Swank, 1986).

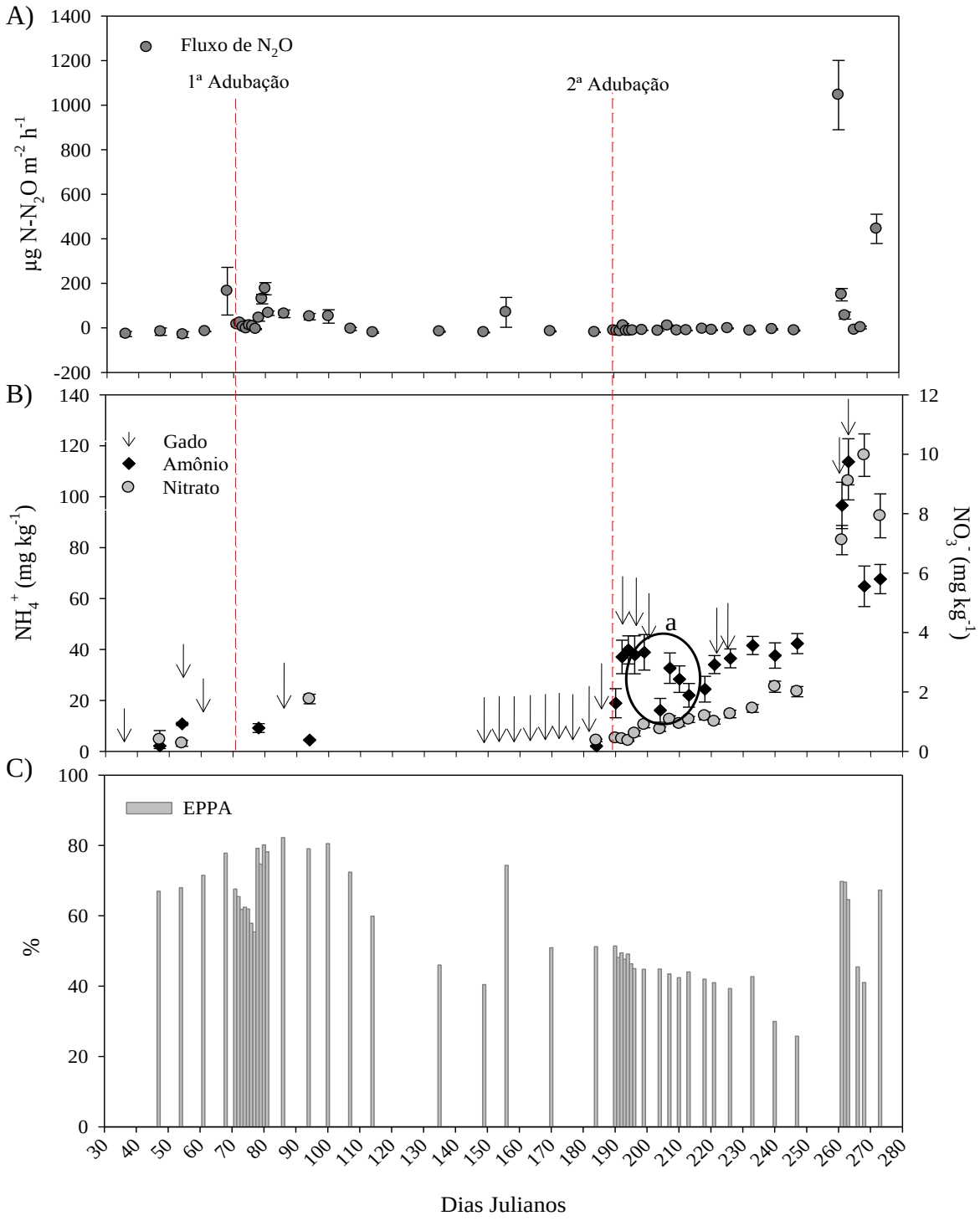

Figura 33. Fluxos de N_2O (A), teor de amônio e nitrato, e animais em pastejo (B) e EPPA (C) na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. a - decréscimo do teor de amônio após a 2º adubação de cobertura. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Altas taxas de N_2O ocorrem quando o solo apresenta EPPA acima de 60% (Figura 33A e 33C), o que dificulta a difusão de O_2 no solo e favorece a formação de

ambientes anaeróbicos ideais para a desnitrificação (Dobbie & Smith, 2001; Smith et al., 2003; Bateman & Baggs, 2005). Na maioria das vezes, este processo também é intensificado com o aumento do teor de NO_3^- no solo (Figura 33B) e quando fatores como temperatura e C orgânico disponível não são limitantes (Dalal et al., 2003).

Escobar (2011) avaliando as emissões de N_2O do solo no período de pós-manejo das plantas de cobertura de inverno, aveia/milho e ervilhaca/milho, observou relação entre os fluxos de N_2O e os teores de nitrato, EPPA, temperatura do solo e a atividade biológica, indicando a desnitrificação como principal processo envolvido na produção de N_2O. Tais resultados corroboram os encontrados na presente pesquisa, pois o teor de NO_3^-, EPPA e temperatura do solo (Figura 33B e 33C) foram correlacionados positivamente com os fluxos de N_2O (Figura 33A). Correlação positiva foi observada entre as seguintes variáveis físicas e químicas do solo: EPPA e temperatura do solo; temperatura do solo e temperatura do ar; e teor de NH_4^+ e NO_3^- do solo.

Com o intuito de avaliar o efeito da estação do ano sobre a incidência dos fluxos de N_2O, esses foram correlacionados aos atributos físicos do solo na estação chuvosa e aos atributos físicos e químicos do solo na estação seca. Na estação chuvosa foi observada correlação positiva entre os fluxos de N_2O e o EPPA do solo. Quanto aos atributos físicos foi observada correlação positiva entre a temperatura do ar e a temperatura do solo (Tabela 13).

Tabela 13. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas do solo na área sob pastagem. Dados referentes ao período chuvoso de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 24 de abril (114 dia juliano) de 2013.

Variável/Variável	N_2O	EPPA	Temperatura	
			solo	ar
N_2O	1	0,6707	0,0339	-0,2093
EPPA	**	1	-0,3423	-0,3223
Temperatura do solo	ns	ns	1	0,7150
Temperatura do ar	ns	ns	**	1

**Correlação positiva e significativa para p-valor <= 0,01. ^{ns}Correlação não significativa.

Alguns autores citam que altas taxas de fluxos de N_2O são verificadas quando o solo apresenta EPPA acima de 60% (Figura 34B), pois ocorre decréscimo na difusão de oxigênio favorecendo a formação de ambientes anaeróbicos (Bateman & Baggs, 2005). As precipitações favoreceram a mineralização do nitrogênio orgânico oriundo das fezes dos

animais e a hidrólise da ureia aplicada no solo, em consequência, houve aumento nos fluxos de N_2O (Figura 34A). Na Figura 34 pode ser observado que os fluxos apresentaram comportamento semelhante ao EPPA do solo, sendo maiores quando as taxas de EPPA foram mais elevadas e decrescendo com a redução do EPPA.

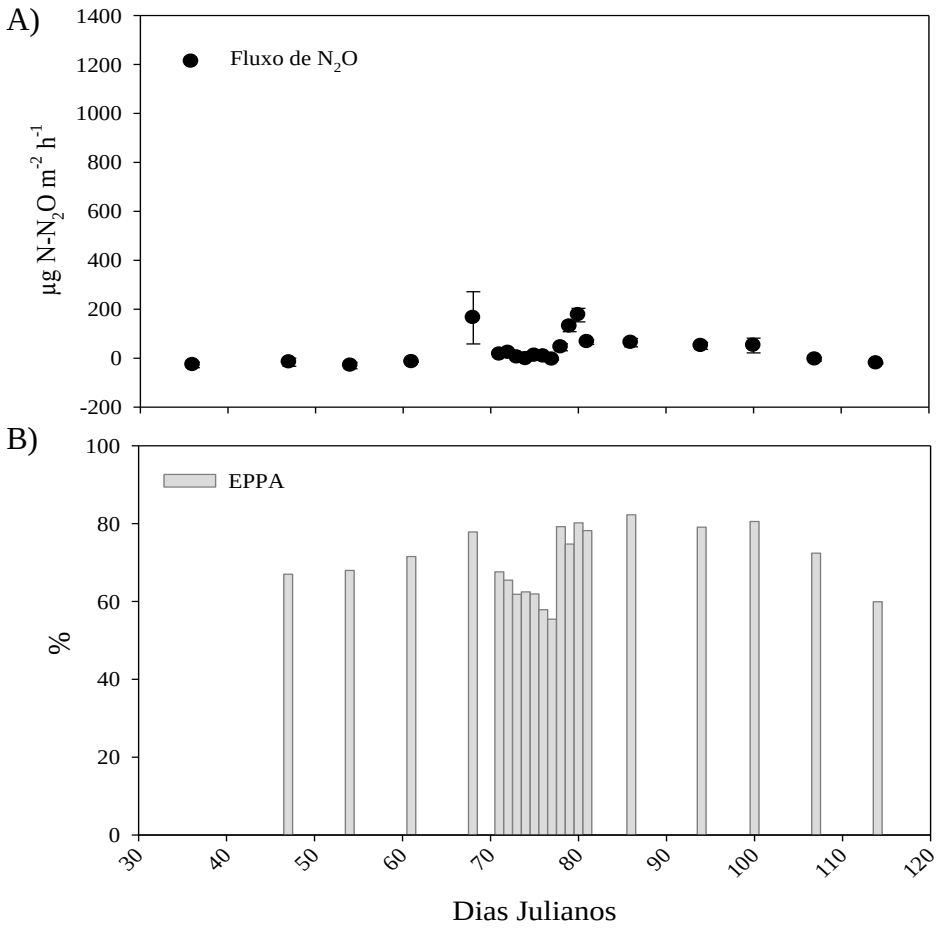

Figura 34. Fluxos de N_2O (A) e EPPA (B) do solo na área sob pastagem no período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 24 de abril (114 dia juliano) de 2013. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Na estação seca foi observada correlação positiva entre os fluxos de N_2O e os teores de NH_4^+ e NO_3^- do solo; entre os teores de NH_4^+ e NO_3^- e dos mesmos com a temperatura do solo; e entre temperatura do solo e temperatura do ar (Tabela 14).

Tabela 14. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas e químicas do solo sob pastagem. Dados referentes ao período seco de 15 de maio (135 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.

Variável/Variável	N_2O	pH	EPPA	NH_4^+	NO_3^-	Temperatura	
						solo	ar
N_2O	1	0,0414	0,1764	0,4662	0,7955	0,2071	-0,0173
PH	ns	1	0,3836	0,2294	-0,1692	-0,1229	-0,2648
EPPA	ns	ns	1	0,1353	-0,2211	0,0238	-0,0718
NH_4^+	*	ns	ns	1	0,6361	0,7456	0,1790
NO_3^-	**	ns	ns	**	1	0,7053	0,2564
Temperatura do solo	ns	ns	ns	**	**	1	0,5676
Temperatura do ar	ns	ns	ns	ns	ns	**	1

**Correlação positiva e significativa para p-valor <= 0,01. *Correlação positiva e significativa para p-valor >0,01 e <=0,05. ^{ns}Correlação não significativa.

Os teores de NH_4^+ aumentaram até o sétimo dia após a 2º adubação de cobertura, posteriormente verificou-se uma queda nesses teores. A entrada dos animais no pasto promoveu o aumento nos teores de NH_4^+. As precipitações favoreceram o aumento nos teores de NH_4^+ e NO_3^- (Figura 35B). Os fluxos de N_2O (Figura 35A) foram favorecidos pela ocorrência de precipitação. Deve-se destacar que a ocorrência de chuvas após o período seco favoreceu as maiores magnitudes de fluxos de N_2O dentro do período estudado (Figura 35A) conforme relatado por Varella et al. (2004). Em períodos secos com a ocorrência de precipitação os processos de nitrificação e de desnitrificação podem ocorrer de forma simultânea no solo (Souza & Enrich-Prast, 2012) favorecendo a formação de N_2O. A correlação positiva observada entre os fluxos de N_2O e os teores de amônio e nitrato no solo sugere que tais processos ocorreram de forma simultânea no solo e que favoreceram a formação de N_2O.

Na área sob floresta houve consumo de N_2O pelo sistema ocorrendo predomínio de fluxos negativos. Em algumas situações o sistema edáfico pode consumir N_2O, os fatores que influenciam esse consumo ainda não são bem esclarecidos mas parecem estar correlacionados negativamente com a disponibilidade de N mineral do solo, com o pH e com o conteúdo de O_2. Quanto mais tempo o N_2O permanecer no solo maior quantidade de N_2O será usada como aceptor de elétrons e maior será a emissão de N_2 (Signor, 2010).

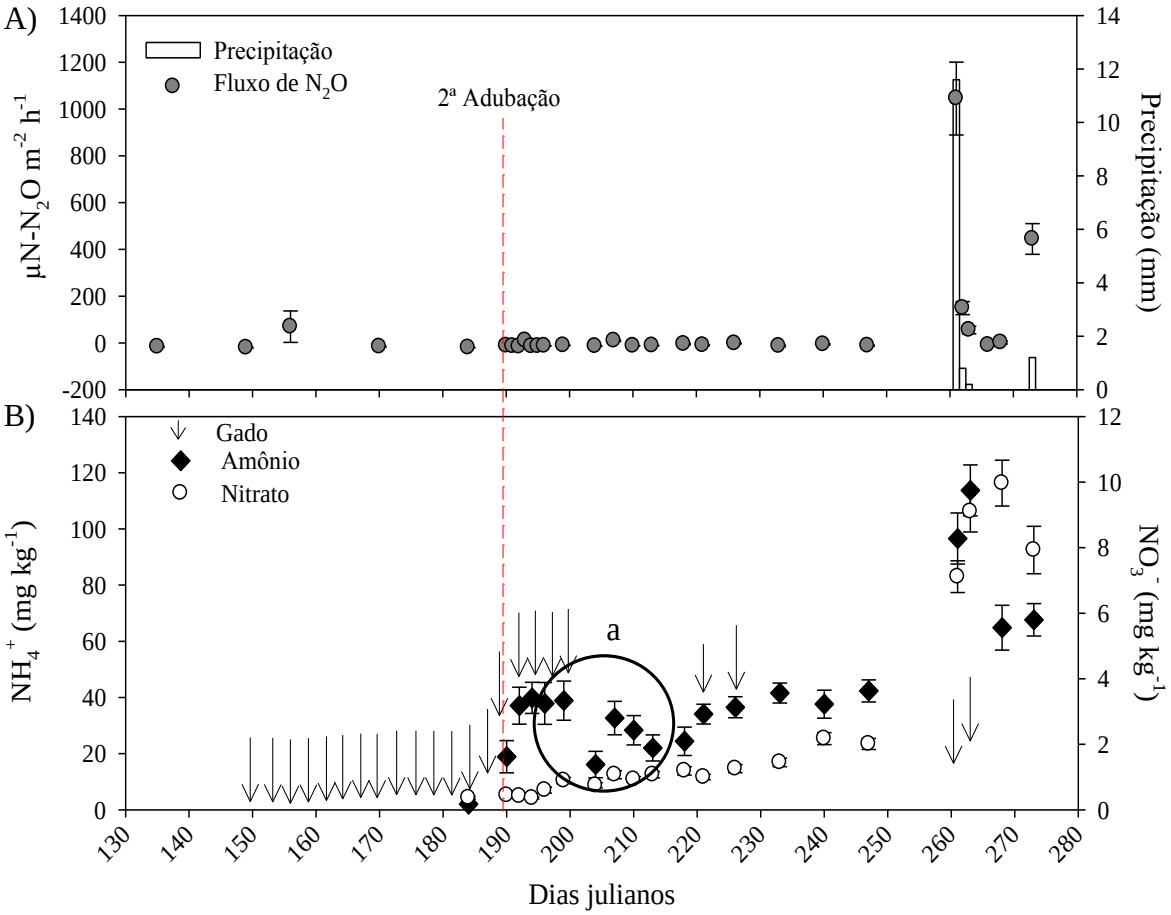

Figura 35. Fluxos de N_2O e precipitação (A), teor de amônio e nitrato, e animais em pastejo (B) na área sob pastagem, na estação seca, no período de 15 de maio (135 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013. a - redução do teor de amônio após a 2º adubação de cobertura. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Na floresta foi observada correlação positiva entre pH e EPPA; entre a temperatura do ar e pH, EPPA, NH_4^+ e temperatura do solo; e entre a temperatura do solo e EPPA, NH_4^+ e NO_3^- (Tabela 15). Na área sob floresta houve predomínio de influxos de N_2O no solo, não foi observada correlação entre os influxos e as variáveis estudadas (Tabela 15)

Tabela 15. Correlação de Spearman entre os valores médios dos fluxos de N_2O e das variáveis físicas e químicas do solo sob floresta. Dados referentes ao período de 5 de fevereiro (36 dia juliano) a 30 de setembro (273 dia juliano) de 2013.

Variável/Variável	N_2O	pH	EPPA	NH_4^+	NO_3^-	Temperatura	
						solo	ar
N_2O	1	0,1106	0,2162	-0,0279	0,3705	0,1472	0,0264
pH	ns	1	0,6749	0,2377	-0,0475	0,3867	0,5931
EPPA	ns	**	1	0,3746	0,2735	0,3858	0,4091
NH_4^+	ns	ns	ns	1	0,2797	0,5465	0,5901
NO_3^-	ns	ns	ns	ns	1	0,5068	0,0890
Temperatura do solo	ns	ns	*	*	*	1	0,7833
Temperatura do ar	ns	**	**	**	ns	**	1

**Correlação positiva e significativa para p-valor <= 0,01. *Correlação positiva e significativa para p-valor >0,01 e <=0,05. ^{ns}Correlação não significativa.

6 CONCLUSÕES

Os fluxos de N_2O amostrados com câmaras estáticas manuais apresentaram alta variabilidade espacial. Os fluxos médios obtidos pelas duas metodologias, câmaras estáticas manuais e fluxo-gradiente foram de 43,99 μg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} e 65,51 μg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1}, respectivamente. Os métodos foram comparáveis, entretanto, deve-se ter cuidado ao mensurar à emissão total de N_2O para um determinado período de tempo. O método da câmara estática manual subestimou a emissão total de N_2O em 27,09% quando comparado ao método do fluxo-gradiente. O método do fluxo-gradiente permite o monitoramento contínuo dos fluxos originando maior quantidade de dados a serem avaliados, já o método da câmara estática por demandar tempo e mão-de-obra, e devido a dificuldade em quantificar os fluxos por longos períodos, resulta em menor frequência de dados.

No cálculo da emissão total de N_2O foram utilizados os valores de fluxos dos dias amostrados para estimar os dias não amostrados, esse ajuste dos dados pode subestimar o valor real da emissão, isso foi verificado no presente estudo, quando o resultado obtido pelo método da câmara estática manual foi subestimado quando comparado ao resultado obtido pelo método do fluxo-gradiente, cabendo aqui, estudos mais aprofundados.

O solo sob floresta apresentou melhor estrutura física, boa relação entre a quantidade de macroporos e microporos, e densidade com valor inferior a encontrada no solo sob pastagem. Na área sob pastagem foi observada maior compactação do solo, o que se deve ao uso do solo em cultivos agrícolas e na pecuária, maior valor de densidade do solo, e consequente, diminuição dos macroporos e aumento dos microporos. Porém, o que se verifica é que as propriedades físicas do solo na área da pastagem foram mantidas ao longo do tempo, quando comparados os resultados obtidos na presente pesquisa com resultados de estudos anteriores para essa mesma área, provavelmente a manutenção dos atributos do solo estejam associadas principalmente a adoção do SILP.

A área sob floresta apresentou pH mais ácido e maior quantidade de carbono total em comparação a área sob pastagem, o que se deve ao maior aporte de material

orgânico. O teor de amônio foi predominante na área sob pastagem o que pôde ser explicado pela aplicação de ureia e deposição de resíduos orgânicos de fezes e urina pelo gado.

Os maiores fluxos de N_2O foram observados na área sob pastagem e relacionados a maior quantidade de substrato disponível para a atuação dos microrganismos do solo, sendo que a prevalência dos processos de nitrificação e desnitrificação estão associados ao EPPA do solo. As variáveis químicas e físicas do solo que apresentaram correlação positiva com os fluxos de N_2O, medidos pelo método da câmara estática manual, durante todo o período em estudo foram os teores de nitrato, EPPA e a temperatura do solo. Na estação chuvosa os fluxos de N_2O apresentaram correlação positiva com o EPPA, e na estação seca apresentaram correlação positiva com os teores de amônio e nitrato do solo. Na área da floresta houve consumo de N_2O com predomínio de fluxos negativos.

7 REFERÊNCIAS

AHMAD, S.; LI, C.; DAÍ, G.; ZHAN, M.; WANG, J.; PAN, S.; CAO, C. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 54-61, 2009.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; ABDALLA, S. R.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. São Paulo: International Plant Nutrition Institute (INPI), cap. 1, p. 1-41, 2007.

AKIYAMA, H.; TSURUTA. H. Effect of chemical fertilizer form on N_2O, NO and NO_2 fluxes from Andisol field. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 2-3, p. 219-230, 2002.

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. **Integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 47. Dezembro, 2005).

ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, H. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 126. Junho, 2010).

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N_2O flux from soils. **Soil Biology & Biochemistry**, New York, v. 46, p. 129-135, 2012.

ARAÚJO, G. M.; HARIDASAN, M. A comparison of the nutrients status of two forests on dystrophic and mesotrophic soils in the cerrado region of central Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, p. 1075-1089, 1988.

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 41 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 73. Dezembro, 2002).

BAEDE, A. P. M.; AHLONSOU, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D. **Climate Change 2001**: The Scientific Basis. United Kingdom: Cambridge University, 2001. 881 p.

BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N_2O, CO_2 and CH_4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 29-39, 1999.

BAPTISTA, R. B. **Impacto do Sistema de Integração Lavoura Pecuária nos estoques de carbono e nitrogênio do Solo no Cerrado de Goiânia-GO**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Ciência do Solo)–Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 41, n. 6, p. 379-388, 2005.

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**, Philadelphia, v. 90, p. 69-76, 2006.

BICALHO, I. M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-9, 2011.

BISCOE, P. V.; CLARK, J. A.; GREGSON, K.; MCGOWAN, M.; MONTEITH, J. L.; SCOTT, R. K. Barley and its environment. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 12, p. 227-257, 1975.

BOIN, C. Produtividade em gado de corte: evolução e perspectivas. **Preços Agrícolas**, Piracicaba, n. 138, p. 8-11, 1998.

BORLAUG, N. E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: BAILEY, R. (Ed.). **Global warming and other eco-myths**. Competitive Enterprise Institute, Roseville, p. 29-60, 2002.

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 46, n. 1, p. 53-70, 1996.

BOWLING, D. R.; SARGENT, S. D.; TANNER, B. D.; EHLERINGER, J. R. Tunable diode laser absorption spectroscopy for stable isotope studies of ecosystem-atmosphere CO_2 exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 118, n. 1/2, p. 1-19, 2003.

BRASSEUR , G. P.; ORLANDO, J. J.; TYNDALL, G. S. **Atmospheric Chemistry and global change**. New York, Oxford University Press, 1 ed., 1999. 654 p.

BREMNER, J. M.; BREINTENBECK, G. A.; BLACKMER, A. M. Effect of anhydrous ammonia fertilization on emission of nitrous oxide from soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 10, n. 1, p. 77-80, 1981.

BREMER, D. J. Nitrous oxide fluxes in turfgrass: effects of nitrogen fertilization rates and types. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 5, p. 1678-1685, 2006.

BUSINGER, J. A. Turbulent transfer in the atmospheric surface layer. In: HAUGEN, D. A. (Ed.). **Workshop on micrometeology**. American Meteorological Society, Boston, p. 67-100, 1973.

CAMPBELL SCIENTIFIC, C. **Instruction Manual - TGA200 Trace Gas Analyzer Overview**. Logan, 2011. 19 p.

CARDOSO, A. N.; SAMINÊZ, T. C.; VARGAS, M. A. **Fluxo de gases - traço de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos de Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 23 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17. Novembro, 2001).

CASTRO FILHO, C.; COCHRANE, T. A.; NORTON, L. D.; CAVIGLIONE, J. H.; JOHANSSON, L. P. Land degradation assessment: tools and techniques for measuring sediment load. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND MEETING OF THE IUSS SUBCOMMISSION C -SOIL AND WATER CONSERVATION, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings**... Rio de Janeiro: Embrapa Solos: SBCS, 2002. 1 CD ROM.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N.; VIVALDI, L. J.; SOUZA, D. M. Emissão de óxidos de nitrogênio associada a aplicação de uréia sob plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 679-685, 2006.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C. **Emissões de NO, N_2O e CO_2 em agroecossistemas do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 26 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 188. Outubro, 2007).

CARVALHO, G. D. **Uso de nitrogênio no cultivo de arroz irrigado e seus efeitos no solo, na planta e na emissão de óxido nitroso**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CARVALHO, P. C de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; TREIN, C. R.; FLORES, J. P. C.; CEPIK, C. T. C.; LEVIEN, R.; LOPES, M. T.; BAGGIO, C.; CLAUDETE, R. L.; SULC, R. M.; PELISSARL, A. O estado da arte em integração lavoura-pecuária. In: GOTTSCHALL, C. S.; SILVA, J. L. S.; RODRIGUES, N. C. (Org.). **Produção animal**: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia. Canoas, p. 7-44, 2005.

CENCIANI, K. **Diversidade bacteriana em solos da Amazônia: variabilidade dos gêneros associados ao processo de nitrificação**. 2007. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Microbiologia Agrícola)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Sequestro de carbono em solos na América Latina. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 40-44, 2007.

CHRISTENSEN, S.; AMBUS, P.; ARAH, J. R.; CLAYTON, H.; GALLE, B.; GRIFFITH, D. W. T.; HARGREAVES, K. J.; KLEMEDTSSON, L.; LIND, A. M.; MAAG, M.; SCOTT, A.; SKIBA, U.; SMITH, K. A.; WELLING, M.; WIENHOLD, F. G. Nitrous oxide emissions from an agricultural field: comparison between measurements by flux

chamber and micrometeorological techniques. **Atmospheric Environment**, Philadelphia, v. 30, p. 4183-4190, 1996.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de 2011/2012**. 2012. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_10_17_16_09_58_boletim_graos_-_julho_2012.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2014.

COSTA, A. R. **Produção de óxido nitroso de solo cultivado com feijoeiro comum irrigado em sistema plantio direto no cerrado**. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 545-559.

COSTA, O. V. **Estoque de carbono e indicadores de qualidade de solo de tabuleiro sob pastagem no sul da Bahia**. 2005. 64 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

CRUTZEN, P. J. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, included nitrogen oxide. In: DELWICHE, C. C. (Ed.). **Denitrification, nitrification and N_2O**. New York: John Wiley and Sons, 1981. p. 17-44.

CRUTZEN, P. J.; MOSIER, A. R.; SMITH, K. A.;WINIWARTER, W. N_2O release from agrobiofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [s. 1], v. 8, p. 389-395, 2008.

CUNHA, A. S.; MULLER, C. C.; ALVES, E. R. A.; SILVA, J. E. **Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos Cerrados**. Brasília: IPEA, 1994. 256 p.

DALAL, R. C.; WANG, W.; ROBERTSON, G. P.; PARTON, W. J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 41, n. 2, p. 165-195, 2003.

DAVIDSON, E. A.; SWANK, W. T. Environmental parameters regulating gaseous nitrogen losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 52, n. 6, p. 1287-1292, 1986.

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**, Washington, v. 50, n. 8, p. 667-680, 2000.

DAVIDSON, E. A.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. de S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. **Scientific World Journal**, Newbury, v. 1, n. 2, p. 312-319, 2001.

DAVIDSON, E. A.; AVAGE, K.; VERCHOT, L. V.; NAVARRO, R. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 113, n. 1/4, p. 21-37, 2002.

DAVIDSON, E. A. The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860. **Nature Geoscience**, United Kingdom, v. 2, n. 9, p. 659-662, 2009.

DECAËNS, T.; BUREAU, F.; MARGERIE, P. Earthworm communities in a wet agricultural landscape of the Seine Valley. **Pedobiologia**, Upper Normandy, v. 47, n. 4/5, p. 479-489, 2003.

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N_2O emissions from an imperfectly drained gleysol. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, n. 4, p. 667-673, 2001.

DUXBURY, J. M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 38, n. 2, p. 151-163, 1994.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed., Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Ph.D. UDESC, Lages, 2003. 76 p.

ESCOBAR, A. L. F. **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo**. 2011. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

FBDS. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. **Efeito estufa um problema que envolve todas as nações**. Companhia Vale do Rio Doce, 1994. 24 p.

FERNANDES, E. B. **Emissões de CO_2, NO_x, e N_2O, em solos sob diferentes cultivos na região do Cerrado**. 2008. 151 f. Tese (Doutorado em Ecologia)–Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

FERREIRA, A. H. B.; DINIZ, C.C. Convergência entre as rendas *per capita* estaduais no Brasil. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 15, n. 4. p. 38-56, 1995.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 515-524, 1999.

FISCH, G.; LEAN, J.; WRIGHI, J. R.; NIBRE, C. A. Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região amazônica; estudo de um caso em Rondônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 12. n. 1, p. 33-48, 1996.

FOWLER, D.; DUYZER, J. H. Micrometeorological Techniques for the Measurement of Trace Gas Exchange. In: ANDRAE, M. O.; SCHIMEL, D. S. (Eds.). **Exchange of Trace**

Gases Between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere. New York: John Wiley e Sons, p. 189-207, 1989.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; WRUCK, F. J.; SKORUPA, L. A.; GUISOLPHI, I. J.; CAUMO, A. L. **Contribuição da integração lavoura-pecuária para a agricultura de baixo carbono em Mato Grosso**. 2010. Disponível em: < http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27444/1/FertBio1584.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2012.

GARCIA-MONTIEL, D.; STEUDLER, P. A.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Controls on soil nitrogen oxide emissions form forest and pastures in the Brazilian Amazon. **Global Biogeochemical Cycles**, New York, v. 15, n. 4, p. 1021-1030, 2001.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1653-1661, 2006.

GILBERT, R. O. **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring**. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1987. 320 p.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GRANLI, T.; BOCKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Noruega, v. 12, 1994. 128 p.

GREENWOOD, K. L.; McKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 41, p. 1231-1250, 2001.

GREGOSKI, A. **Medição de gás utilizando o princípio TDLS**. 2012. Disponível em: <http://www.yokogawa.com/an/index.htm>. Acesso em: 16 jun. 2012.

GRIFFIS, T. J.; BAKER, J. M.; SARGENT, S. D.; TANNER, B. D.; ZHANG, J. Measuring field-scale isotopic CO_2 fluxes with tunable diode laser absorption spectroscopy and micrometeorological techniques. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 124, n. 1/2, p. 15-29, 2004.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 8, p. 345-360, 2002.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L. de; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C. de; CASTRO FILHO, C. de; LANDERS, J. N. A erosão e seu Impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 5, p. 47-60.

HOUGHTON, J. T.; CALLANDER, B. A.; VARNEY, S. K. **Climate Change 1992**: the supplementary report to the IPCC scientific assessment. United Kingdom: Cambridge University, 1992.

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

HUTCHINSON, G. L.; LIVINGSTON, G. P. Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. In: HARPER, L. A.; MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M.; ROLSTON, D. E. (Ed.). **Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change**. Madison: ASA, CSSA e SSSA, p. 63-78. 1993 (ASA Special Publication, 55).

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Produção da pecuária municipal, Rio de Janeiro, v. 40, p. 1-71, 2012.

IPCC 1995. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Segundo Relatório de Avaliação**. 1995. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2014.

IPCC 1997. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: Cambridge University Press, Cambridge. 1997.

IPCC 2006. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Org.). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

IPCC 2007. **Climate Change 2007**: the physical science basis. 2007.

IPCC 2011. IPCC Expert Meeting on HWP, Wetlands and Soil N_2O. In: EGGLESTON, H. S.; SRIVASTAVA, N.; TANABE, K.; BAASANSUREN, J.; FUKUDA, M. (Ed.). **Institute for Global Environmental Strategies**, Japan, 2011.

IPCC 2013. Intergovernmental Panel. on Climate Change. **Climate Change 2013**: The Physical Science Basis. 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso em: 30 fev. 2014.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da.; SANTOS, J. B. dos.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solos sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

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

JONES, S. K.; FAMULARI, D.; DI MARCO, C. F.; NEMITZ, E.; SKIBA, U. M.; REES, R. M.; SUTTON, M. A. Nitrous oxide emissions from managed grassland: a comparison of

eddy covariance and static chamber measurements. **Atmospheric Measurement Techniques Discussions**, [s.1], v. 4, n. 1, p. 1079-1112, 2011.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X. de; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 28, n. 1, p. 159-169, 2012.

KHALIL, K.; MARY, B.; RENAULT, P. Nitrous oxide production by nitrification and denitrification in soil aggregates as affected by O_2 concentration. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 4, p. 687-699, 2004.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KROON, P. S.; HENSEN, A.; JONKER, H. J. J.; OUWERSLOOT, H. G.; VERMEULEN, A. T.; BOSVELD, F. C. Uncertainties in eddy covariance flux measurements assessed from CH_4 and N_2O observations. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 150, n. 6, p. 806-816, 2010.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 1031-1040, 2007.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 6, p. 1127-1132, 1980.

LAVILLE, P.; H'ENAULT, C.; RENAULT, P.; CELLIER, P.; ORIOL, A.; DEVIS, X.; FLURA, D.; GERMON, J. C. Field comparison of nitrous oxide emission measurements using micrometeorological and chamber methods. **Agronomia**, Seropédica, v. 17, p. 375-388, 1997.

LAVILLE, P.; JAMBER, C.; CELLIER, P.; DELMAS, R. Nitrous oxide fluxes from a fertilised maize crop using micrometeorological and chamber methods. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 96, n. 1/6, p. 19-38, 1999.

LEAN, J.; BUTTON, C. B.; NOBRE, C. A.; ROWTREE, P. R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Ed.). **Amazonian deforestation and climate**. John Wiley & Sons, Chichester, 1996. 611 p.

LESSA, A. C. R.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. (in press). Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, Amsterdam. Aceito em: 6 jan. 2014.

LIMA, M. A. de. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 451-472, 2002.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; ZHANG, F. S. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N_2O, CH_4 and CO_2 fluxes from a clay loam soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 280, n. 1/2, p. 177-188, 2006.

MACEDO, M. C. M. Pastagens nos ecossistemas de cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 1995. Brasília. **Anais**... Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p. 28-62, 1995. 1 CD-ROM.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 62).

MACEDO, M. C. M.; EUCLIDES, V. P. B.; OLIVEIRA, M. P. Seasonal changes in the chemical composition of cultivated tropical grasses in the savanas of Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings**... Palmerston North: New Zealand Grassland Association, v. 3, p. 2000-2002, 1993. 1 CD-ROM.

MAGGIOTTO, S. R.; WEBB, J. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; THURTELL, G. W. Nitrous and Nitrogen Oxide Emissions form Turfgrass Receiving Different Forms of Nitrogen Fertilizer. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 621-630, 2000.

MANZI, A. O. **Introduction d'un schéma des transferts sol-vegetation-atmosphére dans un modéle de circulation générale et application a la simulation de la deforestation Amazonienne**. 1993. 293 f. Tese (Doutorado em Física da Atmosfera)–Universidade Paul Sabatier, Toulouse, 1993.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 873-882, 2007.

MARIMON JUNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão *sensu stricto* em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta botanica brasilica**, Novo Horizonte, v. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; BALSALOBRE, M. A. A. **Curso on-line sobre diferimento de pastagens e suplementação de bovinos de corte**. Piracicaba, Milkpoint: Beefponit, 2001. 91 p.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CORSI, M. Pastagens no Brasil: situação atual e perspectivas. **Preços agrícolas**, Piracicaba, n. 171, p. 3-6, 2001.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. **Pastagens no Cerrado**: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 50. Dezembro, 2002).

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; SOUSA, D. M. G. de; BARIONI, L. G. Pecuária de corte no Cerrado: aspectos históricos e conjunturais. In: MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. (Ed.). **Cerrado**: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. 11. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, v. 1, cap. 1, p. 17-42, 2007.

MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M. Ecosystem approach to a Global Nitrous Oxide Budget. **BioScience**, Washington, v. 40, n. 9, p. 667-672, 1990.

MCT 2010. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Relatórios de Referência**: Emissões de Óxido Nitroso de Solos Agrícolas e Manejo de Dejetos. 2010a. Disponível em: < http://www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228969.pdf >. Acesso em: 29 mar. 2014.

MCT 2010. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. 2010b. Disponível em: < http://www.mct.gov.br/upd_blob/0214/214061.pdf >. Acesso em: 30 mar. 2014.

MCTI 2013. **Estimativas anuais de emissões de gases de feito estufa no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://gvces.com.br/arquivos/177/EstimativasClima.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2014.

MENDONÇA, R.; FELFILI, J.; WALTER, B.; SILVA JÚNIOR, J. C.; REZENDE, A.; FILGUEIRAS, T.; NOGUEIRA, P. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado, Ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 288-556, 1998.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; PELISSARI, A.; ALVES, S. J.; LANG, C. R. Sistemas de integração lavoura-pecuária no Subtrópico da América do Sul: exemplos do Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. **Anais**... Curitiba: UFPR: Ohio State University, 2007. 27 p. 1 CD-ROM.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 3. Chemical methods. Madison: Soil Science Society of America, p. 961-1010, 1996 (Soil Science Society of America book series, 5).

NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI. C. C. Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soils measured by ^{15}N pool dilution. Soil **Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 567-572, 1999.

NOBRE, C. A.; SHUKLA, J.; SELLERS, P. J. Impactos climáticos do desmatamento da Amazônia. Cachoeira Paulista: **Climanálise**, v. 4, n. 9, p. 44 - 55, 1989.

OLIVEIRA, M.; CURI, N.; FREIRE, J. C. Influência do cultivo na agregação de um podzólico vermelho amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 317-322, 1983.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; SHEPHERD, G. J.; MARTINS, F. R.; STUBBLEBINE, W. H. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, United Kingdom, v. 5, p. 413-451. 1990.

PARKIN, T. B. Effect of sampling frequency on estimates of cumulative nitrous oxide emissions. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 37, p. 1390-1395, 2008.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T. **USDA-ARS GRACEnet Project Protocols Chapter 3**. Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements 4. Sampling Protocols, USDA-ARS, Fort Collins, CO, 2010, 39 p.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T.; HARGREAVES, S. K. Calculating the detection limits of chamber-based soil greenhouse gas flux measurements. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 41, n. 3, p. 705-715, 2012.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. de F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 69 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 219).

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2 ed. California: Academic Press, 1996. 340 p.

PERECIN, D.; CAMPOS, D. A. F. Porosidade de solos: microestereometria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 139-143. 1978.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.

PES, L. Z. **Fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no planalto do Rio Grande do Sul**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Mecanização Agrícola)–Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

PIRES, M. O. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. **Sociedade e Cultura**, Goiânia, v. 3, n. 1/2, p. 111-131, 2000.

RAMOS, M. B.; ALVES, B. J. R.; HERBS, M. H. Quantificação de nitrogênio mineral na forma de nitrato e amônio em solos brasileiros. In: XXXII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Ceará. **Resumos**... Ceará: Sociedade Brasileira de Química, 2009. 1 CD-ROM.

RESENDE, M. de L. F.; GUIMARÃES, L. de L. **Inventários da Biodiversidade do Bioma Cerrado**: Biogeografia de Plantas. 2007. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 14 p. Disponível em:

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/levantamento/biogeografia.pdf>. Acesso em: 18 de mar. 2014.

ROCHA, C. H. E. D'A. **Monitoramento *in situ* do fluxo de dióxido de carbono em reservatórios hidrelétricos no Brasil: o caso do APM manso**. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ROCHETTE, P.; ERIKSEN-HAMEL, N. S. Chamber measurements of soil nitrous oxideflux: are absolute values reliable? **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 331-342, 2008.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANTANA, D. P. **A agricultura e o desafio do desenvolvimento sustentável**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 132).

SANTOS, E. O. Perfil e Fluxos Turbulentos de CO_2 na Camada Limite Noturna da Floresta Amazônia Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**... Rio de Janeiro: SBMET, 2000. Disponível em: <http://www.cbmet.com/busca.php>. Acesso em: 12 mar. 2014.

SANTOS, E. O. dos; ROSA, L. P.; SANTOS, M. A. dos. Técnicas de medidas e análises de gases de efeito estufa em reservatórios hidrelétricos brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Paraná. **Anais eletrônicos**... Paraná: SBMET, 2002. Disponível em: < http://www.cbmet.com/cbm-files/11-7bcda3f21c1a94bd1ce93df8fd415571.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2014.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; RIOS, A. J. W.; RODRIGUES, C. **Descrição morfológica de perfis de solos da Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 8 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 258).

SCHREINER, D. T.; BRAGA, F. de V. A.; VOGELMANN, E. S.; RODRIGUES, M. F.; OLIVEIRA, A. E. de; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J. M. Efeito da compactação do solo na retenção de água em uma toposequência argissolos-gleissolo no RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011. Uberlândia. **Anais**... Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas. Uberlândia: USBCS, 2011. 1 CD-ROM.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ROS, C. O. da. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 797-804, 2004.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SIGNOR, D. **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SIMPSON, D.; GUENTHER, A.; HEWITT, C. N.; STEINBRECHER, R. Biogenic emissions in Europe 1: estimates and uncertainties. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 100, n. 11, p. 22.875-22.890, 1995.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 697-704, 2006.

SILVEIRA, J. **Estoques e indicadores de carbono em cerradão e cerrado strictu sensu**. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)–Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SMITH, K. A.; CLAYTON, H.; ARAH, J. R. M.; CHRISTENSEN, S.; AMBUS, P.; FOWLER, D.; HARGREAVES, K. J.; SKIBA, U.; HARRIS, G. W.; WIENHOLD, F. G.; KLEMEDTSSON, L.; GALLE, B. Micrometeorological and chamber methods for measurement of nitrous oxide fluxes between soils and the atmosphere: Overview and conclusion. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 99, p. 16541-16548, 1994.

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

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L.; FIXAN, P. E. Review of greenhouse gas emissions form cropping production systems and fertilizer management effects. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 133, n. 3/4, p. 247-266, 2009.

SORDI, A.; DIECKOW, J.; PIVA, J. T.; ALBUQUERQUE, M. A.; BAYER, C.; TOMAZI, M. Emissão de óxido nitroso a partir de urina e esterco de bovinos em pastagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011. Uberlândia. **Anais**... Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas. Uberlândia: SBCS, 2011. 1 CD-ROM.

SOUZA, V. F.; ENRICH-PRAST, A. Óxido nitroso (N_2O) em ambientes aquáticos continentais: produção, fatores reguladores e fluxos de diferentes ambientes. **Oecologia Australis**, Universitária, v. 16, n. 2, p. 311-329, 2012.

TOLEDO, K. **Quinto relatório do IPCC mostra intensificação das mudanças climáticas**. 2013. FAPESP. Disponível em: < http://agencia.fapesp.br/17944>. Acesso em: 18 mar. 2014.

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; VIEIRA, F. C. B.; KUHN, N.; MIELNICZUK, J. Emissões de Óxido Nitroso em Sistemas de Manejo de Solo no RS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008. Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro: RBMCSA/SBCS, 2008. 1 CD-ROM.

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

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 CO_2, CO, NO, and N_2O from an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, Tempe, v. 14, n. 4, p. 221-231, 2004.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; BARIONI, L. G.; BARCELLOS, A. de O. Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F. G.; NETO, A. L. de F. (Ed.). **Savanas**: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, v. 1, cap. 30, p. 933-962, 2008.

WAGNER-RIDDLE, C.; THURTELL, G. M.; KING, K. M.; KIDD, G. E.; BEAUCHAMP, E. G. Nitrous oxide and carbon dioxide fluxes from a bare soil using a micrometeorological approach. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, p. 898-907, 1996.

WANG, K.; ZHENG, X.; PIHLATIE, M.; VESALA, T.; LIU, CHUNYAN, L.; HAAPANALA, S.; MAMMARELLA, I.; RANNIK, U.; LIU, H. Comparison between static chamber and tunable diode laser-based eddy covariance techniques for measuring nitrous oxide fluxes form a cotton field. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 171-172, p. 9-19, 2013.

WILKINS, R. J. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 363, p. 517-525, 2008.

YAMAGUCHI, T.; VARGAS, M. A. T.; LUCHIARI JUNIOR, A.; KOSUGE, N. **Attempts to measure N_2O using a Brazilian made chromatograph**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 404-516, 1994 (Embrapa Cerrados. Relatório técnico do projeto nipo-brasileiro de cooperação em pesquisa agrícola no cerrado 1987/1992).