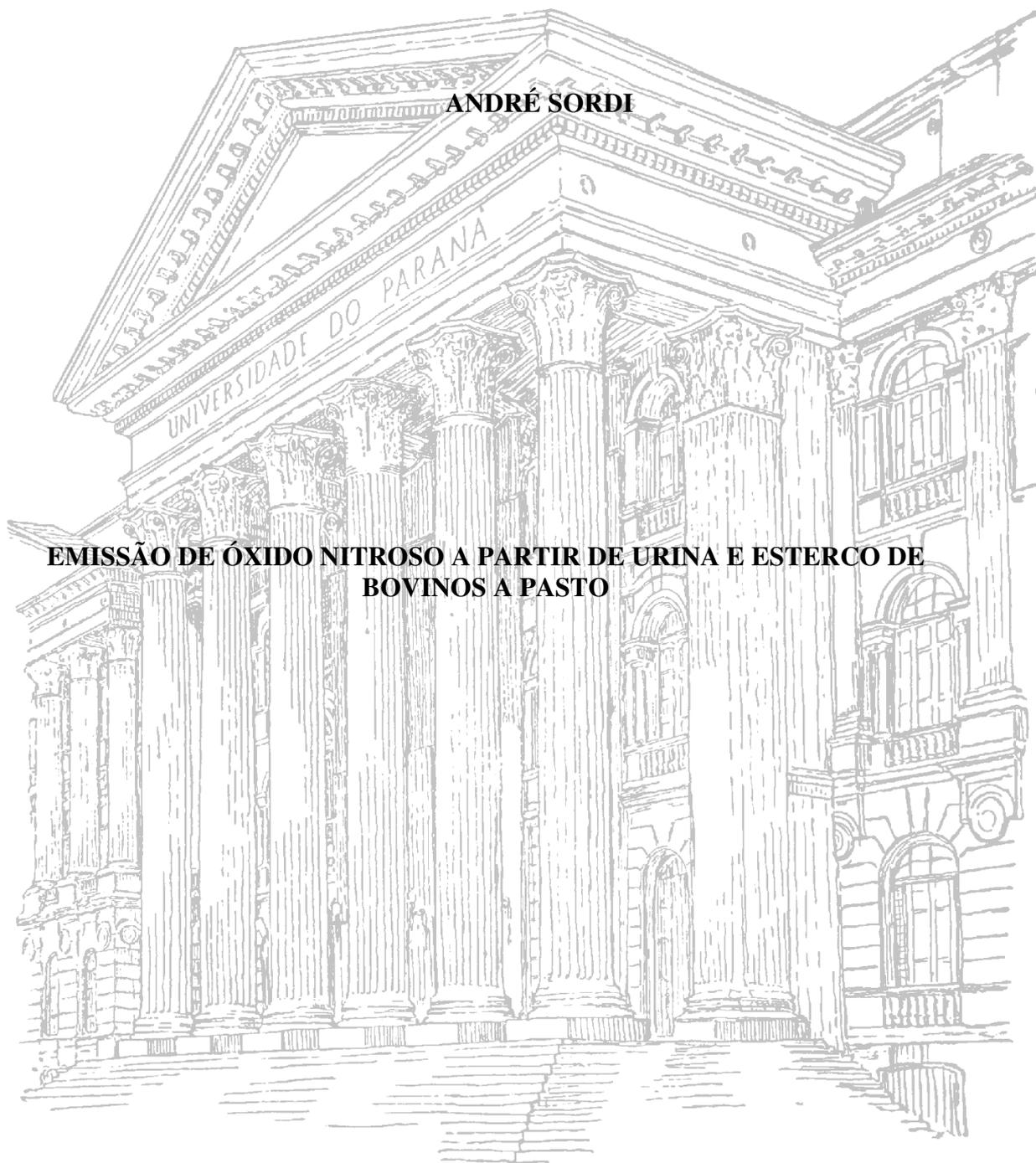


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ SORDI

**EMIÇÃO DE ÓXIDO NITROSO A PARTIR DE URINA E ESTERCO DE
BOVINOS A PASTO**



**CURITIBA - PR
2012**

ANDRÉ SORDI

EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO A PARTIR DE URINA E ESTERCO DE BOVINOS A PASTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Área de Concentração: Solos e Ambiente. Linha de Pesquisa: Qualidade, Manejo e Conservação do Solo e da Água. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aluno: André Sordi

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co-orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

Co-orientador: Prof. Dr. Cimélio Bayer

Curitiba - PR
2012

Sordi, André

Emissão de óxido nitroso a partir de urina e esterco de bovinos a pasto / André Sordi – Curitiba – PR, 2012.

53f.

Orientador: Jeferson Dieckow.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciência Agrária, Universidade Federal do Paraná.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIA DO SOLO

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **ANDRÉ SORDI**, sob o título: "Emissão de óxido nitroso a partir de urina e esterco de bovinos a pasto", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Solo e Ambiente".

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 27 de abril de 2012.


Prof. Dr. Jeferson Dieckow, Presidente


Prof. Dr. Cimélio Bayer, I°. Examinador


Prof. Dr. Anibal de Moraes, II°. Examinador


Engenheira Agrônoma Dra. Josiléia Acordi Zanatta, III°. Examinadora



DEDICATÓRIA

Aos meus pais Vilson e Maria Sordi pelo incentivo em todas as etapas de minha formação, a minha esposa Margarete de Marchi pelo apoio e compreensão e aos meus irmãos Kationei e Francieli e a todos meus amigos que me apoiaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof^o Dr. Jeferson Dieckow, pela amizade, orientação, ensinamentos, confiança, paciência e fundamental colaboração para a elaboração desta dissertação.

Aos professores Dr. Cimélio Bayer e Anibal de Moraes e Josiléia Acordi Zanatta pela orientação e contribuição sobre o trabalho.

Aos professores do Programa com os quais tive o privilégio de conhecer e pelas profunda amizade e ensinamento.

A todos os meus colegas e amigos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, em especial Marcio Albuquerque, Jonatas Piva, Cesar Gubert, Daniel Hanke, Bruna Winck, Mauricio Biesek, Francihele Muller, Jessica Kaseker, Ricardo Zanetti.

Aos bolsistas Maico Pergher, Ambrósio Ivatiuk, Bruno Silva, Estefano Vargas Neto (In memória) e Anderson pela ajuda e dedicação ao trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Gerson, Elda, Aldair e Cleusa. A todos os membros do laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em especial a Michely Tomazi e Carla Machado da Rosa, responsáveis pelas análises de gases.

Aos meus familiares, em especial meus pais, Vilson e Maria, pelo suporte, força e incentivo. A minha esposa Margarete e aos meus irmãos Kationei e Francieli pela amizade e incentivo.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho, juntamente com a CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos meu muito Obrigado.

EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO A PARTIR DE URINA E ESTERCO DE BOVINOS A PASTO¹

Autor: Eng^o. Agro^o. André Sordi

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Co-orientadores: Prof. Dr. Cimélio Bayer
Prof. Dr. Anibal de Moraes

Resumo: O fator de emissão de óxido nitroso (N₂O) de dejetos depositados em pastagens é globalmente definido em 2 % do N aplicado, sendo este utilizado nos inventários nacionais de emissão de gases de efeito estufa. Porém, não se conhece a adequabilidade deste fator para as condições regionais do Subtropical Brasileiro. O objetivo deste trabalho foi avaliar a emissão de N₂O a partir de urina e esterco de bovinos a pasto nas condições do subtropical Brasileiro, visando à obtenção de fatores de emissão e informações básicas para subsidiar o inventário nacional deste gás de efeito estufa. O estudo foi conduzido em pastagem perene com *Paspalum paniculatum*, localizada na Fazenda Canguiri – UFPR, região metropolitana de Curitiba - PR, Brasil. O fator de emissão de N₂O foi estimado para esterco e urina coletados de vacas holandesas e depositados diretamente na pastagem. A quantidade média de 20 esterçada e 20 urinação foi gerada por um conjunto de animais. Em média, cada urinação gerou um volume de 1970 mL de urina e cada esterçada uma massa de 3370g de esterco fresco. Quantidades equivalentes à 0,5, 1,0 e 1,5 vezes a massa de esterco e o volume de urina, foram aplicadas individualmente de forma pontual sobre o solo, gerando os tratamentos de urina (U0.5, U1.0 e U1.5) e de esterco (E0.5, E1.0 e E1.5). As avaliações foram conduzidas no verão, inverno e primavera, com duração de 90 dias cada. Os fluxos de emissão de N₂O ocorreram logo após a deposição da urina e esterco no solo, sendo mais alto na urina em relação ao esterco. Os picos de emissão ocorreram aos 12, 8 e 30 dias após aplicação se encerrando aos 30, 72 e 42 dias após aplicação respectivamente as estações de verão, inverno e primavera. O fator médio de emissão de N₂O para urina foi de 0,27±0,07% do N aplicado, enquanto para o esterco foi de 0,19±0,06% do N aplicado, valores estes bem inferiores de 2% proposto pelo IPCC. Os maiores fluxos ocorreram nas estações com temperaturas mais elevadas (verão e primavera) e os menores no inverno. A urina é a principal responsável pela emissão de N₂O em pastagens e o fator de emissão proposto globalmente (2%) pelo IPCC superestima as emissões de N₂O a partir de dejetos depositados diretamente em pastagens do subtropical Brasileiro.

Palavras-chave: Fator de emissão, dejetos em pastagens, gases do efeito estufa.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do solo. Programa de Pós-Graduação e Ciências do solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR (53 p). Maio, 2011.

NITROUS OXIDE EMISSIONS FROM URINE OF CATTLE MANURE AND A PASTURE

Author: Eng^o. Agr^o. André Sordi

Advisor: Teach. Dr. Jeferson Dieckow

Co-advisors: Teach. Dr. Cimélio Bayer
Teach. Dr. Anibal de Moraes

Abstract: The emission factor for nitrous oxide (N₂O) from manure deposited on pasture is generally set at 2% of applied N, which is used in national emission inventories of greenhouse gases. Yet we know the suitability of this factor to the regional conditions of the Brazilian Subtrópico. The objective of this study was to evaluate the N₂O emissions from urine and dung of grazing cattle in the Brazilian subtrópico conditions in order to obtain emission factors and background information to support the national inventory of greenhouse gas. The study was conducted in perennial pasture with *Paspalum paniculatum*, located on Farm Canguiri - UFPR, metropolitan region of Curitiba - PR, Brazil. The N₂O emission factor was estimated for dung and urine collected from Holstein cows and deposited directly into the pasture. The average amount 20 urination and 20 dung was generated by a group of animals. On average, each urination generated a 1970 mL of urine and each manured 3370g of a mass of fresh manure. Equivalent amounts of 0.5, 1.0 and 1.5 times the mass of manure and urine volume were applied individually in a timely manner on the ground, causing the processing of urine (U0.5, U1.0 and U1.5) and manure (E0.5, E1.0 and E1.5). The evaluations were conducted in summer, winter or spring, lasting 90 days each. The flows of N₂O emission occurred after deposition of the urine and manure into the soil and is higher in the urine over the manure. The emission peaks occurred at 12, 8 and 30 days after application to a close at 30, 72 and 42 days respectively after application of the seasons, summer, winter and spring. The average emission factor of N₂O for urine was $0,27 \pm 0,07$ % of N applied, while for the manure was $0.19 \pm 0,06$ % of N applied, these values are well below the 2% proposed by IPCC. The largest flows occurred at stations with higher temperatures (summer and spring) and lowest in winter. Urine is primarily responsible for the emission of N₂O in pastures and proposed emission factor globally (2%) overestimates the IPCC N₂O emissions from manure deposited directly into the subtrópico Brazilian pastures.

Key-words: Emission factor, manure on pasture, greenhouse gases

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática dos períodos de avaliação de emissão de N_2O . Números abaixo das setas representam dias após a aplicação do dejetos em que o evento de amostragem de ar foi realizado.....6

Figura 2. Precipitação diária e temperatura média diária durante o período de estudo, no ano de 2011. Fonte: Simepar, Curitiba-Paraná, 2011.....11

Figura 3. Concentração de $N-NH_4^+$ (a) $N-NO_3^-$ (b) no inverno e $N-NH_4^+$ (c) $N-NO_3^-$ (d) na primavera; na camada de 0 - 0,05 cm do solo na estação de inverno, a partir de urina e esterco. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterco; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterco; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterco; T0 – Tratamento referência. Pinhais – Paraná, 2011.....15

Figura 4. Porosidade preenchida por água (PPA) na camada de 0-0,05 m do solo na estação de verão (a) e inverno (b) e (C) primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterco; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterco; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterco; T0 – Tratamento referência. Pinhais – Paraná, 2011.....16

Figura 5. Fluxo de emissão $N-N_2O$ a partir de urina e esterco aplicados diretamente em solo de pastagem, nas estações de (a) verão; (b) inverno e (c) primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale

a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterçada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterçada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterçada; T0 – Tratamento referência. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey ($p < 0,10$). Pinhais – Paraná, 2011.....18

Figura 6. Relação entre fator de emissão médio de N₂O a partir dos tratamentos U0.5 e U1.0 e a temperatura média nas três estações avaliada. Pinhais – Paraná, 2011.....23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Volume de urina por urinação por vaca, concentração de N na urina e dose equivalente de N aplicada em simulação de urinação sobre o solo (área de 0,083 m²), considerando a metade (U0.5), uma vez (U1.0) e uma vez e meia (U1.5) do volume médio de urinação por vaca. Pinhais – Paraná, 2011.....12

Tabela 2. Massa de esterco fresco por estercada por vaca, massa seca, concentração de C, concentração de N, relação C:N do esterco e dose equivalente de C e N aplicado em simulações de estercada sobre o solo (área de 0,083m²), considerando a metade (U0.5), uma vez (U1.0) e uma vez e meia (U1.5) da massa média de estercada por vaca. Pinhais – Paraná, 2011.....13

Tabela 3. Emissão acumulada de N-N₂O a partir de urina e esterco aplicado diretamente em solo de pastagem, nas estações de verão; inverno e primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de estercada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de estercada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de estercada; T0 – Tratamento referência.. Pinhais – Paraná, 2011.....20

Tabela 4. Fatores de emissão de urina e esterco a partir de urina e esterco aplicado diretamente em solo de pastagem, nas estações de verão; inverno e primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de estercada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de estercada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de estercada; T0 – Tratamento referência. Pinhais – Paraná, 2011.....22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

N-N ₂ O	- Nitrogênio na forma de óxido nitroso
N ₂ O	- Óxido nitroso
NH ₃ ⁻	- Nitrato
NH ₄ ⁺	- Amônio
N-NH ₃ ⁻	- Nitrogênio na forma de nitrato
N-NH ₄ ⁺	- Nitrogênio na forma de amônio
PPA	- Porosidade preenchida por água
IPCC	- Painel intergovernamental de mudanças climáticas
DAA	- Dias após aplicação
T0	- Tratamento referência
E	- Esterco
U	- Urina
GEE	- Gases do efeito estufa
FE	Fator de emissão

LISTA DE SÍMBOLOS

μg	- micrograma
mg	- miligrama
$\mu\text{g m}^2 \text{ h}^{-1}$	- micrograma metro cuadrado por hora
g m^{-2}	- gramas por metro cuadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Hipóteses	3
1.2 Objetivo.....	3
2 MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1 Área experimental e tratamentos.....	4
2.2 Amostragem de ar e análise de N ₂ O	6
2.3 Caracterização da urina e esterco	7
2.4 Parâmetros de solo	8
2.4.1 Nitrogênio inorgânico (NH ₄ ⁺ e NO ₃ ⁻)	8
2.4.2 Porosidade preenchida por água (PPA)	9
2.6 Fator de emissão de N ₂ O da urina e do esterco.....	10
2.7 Dados meteorológicos.....	10
2.8 Análise estatística.....	10
3 RESULTADOS.....	11
3.1 Precipitação pluviométrica e temperatura do ar.....	11
3.2 Característica dos dejetos.....	12
3.3 Nitrato, amônio e porosidade preenchida por água.....	14
3.4 Fluxo e emissão acumulada de N ₂ O a partir de urina e esterco	17
3.5 Fator de emissão.....	21
4 DISCUSSÃO	24
4.1 Fluxo e emissão acumulada de N ₂ O a partir de urina e esterco	24
4.2 Fator de emissão.....	27
<u>e</u> 5. CONCLUSÕES.....	30
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
7. LITERATURAS CITADAS	32
8. APÊNDICE.....	37

1 INTRODUÇÃO

O rebanho de bovinos no Brasil somam 205 milhões de cabeças, abrangendo uma área de 175 milhões de hectares (IBGE, 2010), sendo uma das atividades que possui importante papel no fornecimento de proteínas, leite, couro e inúmeros outros subprodutos. No entanto, é uma atividade que requer a intensa utilização de recursos naturais, pelo desmatamento feito para abertura de novas áreas, utilização de recursos hídricos e emissão de gases do efeito estufa (GEE) em seu sistema de exploração.

A deposição de dejetos pelos animais em solo de pastagens faz da bovinocultura e dos solos as maiores fontes emissoras de óxido nitroso (N_2O) no Brasil, representando 40% da emissão nacional deste gás de efeito estufa (Brasil, 2010).

A emissão de N_2O a partir de urina e esterco em pastagem ocorre através dos processos de nitrificação e desnitrificação (Groeninger et al., 2006). Na nitrificação, ocorre a oxidação do amônio (NH_4^+) para nitrato (NO_3^-) por bactérias quimioautotróficas que podem produzir N_2O durante a oxidação da hidroxilamina para NO_3^- (Robertson & Groffman, 2007). Na desnitrificação, bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Clostridium*, *Bacillus*, sob presença de redutores orgânicos, disponibilidade de NO_3^- ou NO_2^- e restrição de O_2 , reduzem o NO_3^- para formas gasosas de NO_2^- e N_2O , NO e N_2 (Smith et al., 2003). Este processo só ocorre quando a difusão de O_2 é limitante, geralmente quando a porosidade preenchida com água (PPA) for superior a 60% (Robertson & Groffman, 2007).

Em pastagem, a emissão de N_2O é afetada pelo volume estercoado e urinado (Groeninger et al. 2005), tipo e forma do dejetos (sólido ou líquido); por fatores intrínsecos ao animal como idade e categoria, bem como pelo sistema de produção, basicamente consumo de alimento e concentração de proteína no alimento (Carter, 2007; Groeninger et al., 2006); por propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente porosidade preenchida por água (PPA),

alteradas pela compactação proveniente do pisoteio animal (Yamulki & Jarvis, 2002); e por fatores inerentes ao ambiente e ao dejetos, como temperatura, umidade, precipitação (Chadwick et al. 2011)

A emissão de N_2O a partir de urina se torna mais expressiva 24 a 48 horas após a deposição no solo, sendo os picos de emissão observados entre 6 e 20 dias (Carter, 2007; De Klein, 2003). O nitrogênio (N) da urina, presente principalmente na forma de uréia, é hidrolisado por organismos heterotróficos para amônia (NH_3) e NH_4^+ , sendo estes substratos para os microrganismos nitrificadores e desnitrificadores (Oenema et al., 1997). No esterco, a emissão de N_2O é normalmente menor, devido principalmente ao N estar em estruturas orgânicas mais complexas que a uréia, reduzindo assim a disponibilidade de N aos microrganismos.

A excreção média diária de N via urina por animal é de 81 a 320 g e via esterco de 50 a 200 g, totalizando um montante anual de 30 a 120 kg e 20 a 70 kg, respectivamente (Whitehead, 1995). A deposição de N pode chegar a concentrações de 20 a 80 $g\ m^{-2}$ e de 50 a 200 $g\ m^{-2}$. Sendo que revisão feita por Oenema et al. 1997 demonstram que 0,1 a 3,8% do N da urina e 0,1 a 0,7% do N do esterco pode ser emitido na forma de N_2O para a atmosfera. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC na sigla em inglês) recomenda como valor padrão para a elaboração de inventários o fator médio de emissão de N_2O para excretas de bovinos de 2% do N aplicado com variações de 0,7 a 6% (IPCC, 2006). Tais fatores de emissão propostos pelo IPCC foram obtidos em experimentos de longa duração, conduzidos no hemisfério norte. No entanto, devido a abrangência dos estudos iniciais o fator de emissão recomendado não considera a variação climática, de solo, de dejetos e de animais que afeta diretamente os fluxos de emissão de N_2O que ocorrem nas distintas regiões do mundo.

O Brasil é signatário da Convenção Quadro da ONU sobre Mudança do Clima tendo o compromisso de elaborar e atualizar o inventário nacional de emissão e remoção antrópicas de

gases do efeito estufa (GEE), envolvendo o setor energético, indústria, uso da terra e desmatamento, agricultura e tratamentos de resíduos (Brasil, 2010). Para os inventários nacionais, utiliza-se o fator de emissão proposto pelo IPCC (2%). Entretanto, um procedimento mais satisfatório seria a determinação de FE para as condições de clima local. Por isso, estudos que caracterizem as particularidades de cada região devem ser realizados, para se obter um fator de emissão mais próximos às características regionais e para formulação dos inventários nacionais do país ou região.

1.1 Hipóteses

O fator de emissão de N_2O a partir de esterco e urina de bovinos em pastagem no Subtrópico Brasileiro não difere dos 2% propostos globalmente pelo IPCC.

O fator de emissão de N_2O da urina é maior que do esterco, pois na urina o N está na forma de uréia, que é facilmente hidrolisada.

As maiores emissões de N_2O em dejetos em pastagens ocorreram logo após a deposição dos dejetos.

1.2 Objetivo

O objetivo deste estudo foi avaliar a emissão de N_2O a partir de urina e esterco de bovinos a pasto nas condições do subtrópico Brasileiro, visando à obtenção de fatores de emissão para subsidiar o inventário nacional deste gás de efeito estufa e informações básicas para compreensão da dinâmica dos fluxos de emissão de N_2O em dejetos em pastagens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental e tratamentos

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri, localizada na região metropolitana de Curitiba (PR) (25°23'55" S; 49°07'29" W; 912 de altitude), no primeiro planalto paranaense em uma região caracterizada como campo subtropical de altitude. O clima da região é subtropical úmido mesotérmico (Cfb, Köppen), sem estação seca, com verões frescos e invernos com geadas frequentes. A precipitação média anual é de 1420 mm, e a média mensal varia de 71 mm (agosto) e 183 mm (janeiro). A temperatura média do mês mais quente é de 29,1°C em dezembro e do mês mais frio de 8,4°C em julho (Simepar, 2012).

O solo é classificado como Cambissolo Háptico, com as seguintes características na camada 0-20 cm: 439 g kg⁻¹ de argila; pH_{CaCl₂} 4,9; 4,3 % de MO; 51 % de saturação por bases; 5,5 cmol_c dm⁻³ de Ca⁺²; 0,11 cmol_c dm⁻³ de K⁺; 4,4 mg dm⁻³ de P; 2,6 cmol_c dm⁻³ de Mg; 7,8 cmol_c dm⁻³ de H⁺+ Al⁺³ e densidade do solo 1,2 Mg m⁻³.

O experimento foi conduzido num piquete com pastagem cultivada com predominância de *Paspalum paniculatum*. A área do experimento (25x15m = 375 m²) foi cercada para evitar a entrada e dejeções pelos animais. O estudo constituiu em avaliar a emissão de N₂O a partir de urina e esterco de bovino leiteiro aplicados diretamente sobre o solo. As avaliações de emissão foram realizadas em três períodos de 90 dias ao longo de 2011, correspondendo às estações de verão, inverno e primavera (Figura 1). Cada período de 90 dias se iniciava com uma nova aplicação de dejetos.

Os tratamentos consistiram na aplicação de três doses de urina, três doses de esterco e uma testemunha (T0) em microparcels de maneira a simular a excreção dos dejetos pelo animal. Cada microparcela foi delimitada por uma base de metal galvanizado em formato circular (32 cm

de diâmetro e $0,083 \text{ m}^2$ de área). As doses de urina foram equivalentes a metade (U 0.5), uma vez (U 1.0) e uma vez e meia (U 1.5) ao volume médio coletado em 20 urinações de vacas leiteiras da raça holandesa de aproximadamente 500 kg de peso vivo. O volume médio de urina foi de 1970 mL no verão e esse mesmo volume foi usado como referência para as três estações. De maneira semelhante, as doses de esterco foram equivalentes à metade (E 0.5), uma vez (E 1.0) e uma vez e meia (E 1.5) a massa média coletada em 20 estercadas. A massa média do esterco fresco estercado foi de 3370 g no verão e essa massa foi usada como referência para as três estações do ano.

A coleta de urina e esterco para cada estação de avaliação foi realizada na primeira hora da manhã, após a ordenha. O volume de cada urinação foi medido e transferido a um recipiente para homogeneização do líquido. A massa da cada estercada foi quantificada e transferida a um recipiente para homogeneização da massa pastosa. A aplicação do dejetos a campo foi realizada no final da tarde. Visando simular a excreção pelo animal, a urina foi vertida cuidadosamente sobre a microparcela.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela foi composta por duas microparcelsas (duplicatas). A distância entre as microparcelsas foi de 3,5 m. Cada uma das três estações de avaliação foi considerada como um experimento independente.

A avaliação de N_2O sempre iniciou 01 dia após a aplicação dos dejetos de cada estação. As coletas na estação de verão iniciaram em 15/01 e terminaram em 14/04/2011, totalizando 11 eventos de coletas, aos 1, 7, 12, 16, 19, 23, 30, 36, 43, 50 e 90 dias após a aplicação dos dejetos (DAA). Na estação de inverno foram realizados 13 eventos de coletas, entre 03/06 a 01/09/2011, aos 1, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 20, 26, 33, 50, 72, 90 DAA. Na estação de primavera os 13 eventos de coletas iniciaram em 16/09/2011 e terminaram em 15/12/2011 ocorrendo aos 1, 4, 6, 10, 14, 19, 23, 30, 36, 44, 52, 71 e 90 DAA.

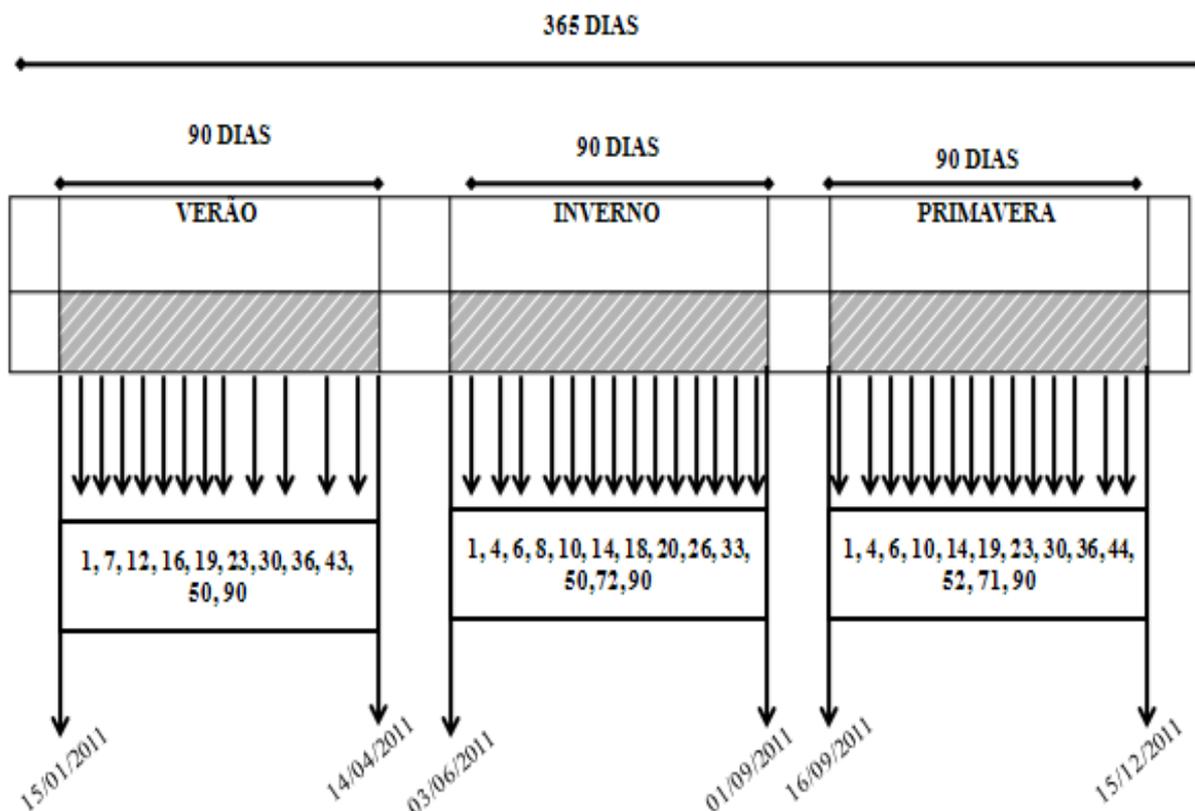


Figura 1: Representação esquemática dos períodos de avaliação de emissão de N_2O . Números abaixo das setas representam dias após a aplicação do dejetos em que o evento de amostragem de ar foi realizado.

2.2 Amostragem de ar e análise de N_2O

Amostras de ar foram coletadas de acordo com o método da câmara estática (Mosier, 1989; Parkin et al., 2003). As câmaras foram constituídas de recipientes de poliuretano de 30 L (33,3 cm de diâmetro; 35,65 cm de altura; 31,05 L de volume) recobertos com manta isotérmica de alumínio. Por ocasião das coletas de ar, as câmaras foram acopladas sobre as bases de metal que delimitavam as microparcels e a vedação foi feita com uma cinta de borracha tipo tarugo na borda das câmaras. As câmaras foram equipadas com termômetro digital, para monitorar a temperatura interna; ventilador (cooler) de 12 V, para homogeneização do ar; e saída de válvula de três vias para acoplar a seringa de coleta de ar.

Cada evento de coleta iniciava as 9 h e durava 30 minutos, com amostras de ar tomadas com seringas de polipropileno (10 mL) aos 0, 15 e 30 minutos após o fechamento do conjunto

câmara-base. As amostras de ar das duplicatas de microparcels de cada parcela foram transferidas e misturadas num frasco evacuado (Exetainer®, Labco, UK), mantido sob refrigeração até a realização da análise, por cromatografia gasosa em equipamentos GC - Shimadzu 14-A, pertencente ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O cromatógrafo foi equipado com detector de captura de elétrons (ECD), para avaliações de N₂O. Conhecendo-se a concentração do gás e o volume total interno da câmara, calculou-se o volume do gás contido na câmara. A partir da informação de volume de gás na câmara, de temperatura interna da câmara (medida durante a sessão de coleta), de pressão atmosférica (considerada 1 atm), e da constante universal do gás ideal (R), calculou-se, através da lei do gás ideal, o número de mols (n) e, a partir disso, a quantidade (massa) do gás contido na câmara. Considerando a área de solo contido na base da câmara, foi possível calcular a quantidade (massa) do gás que foi emitido por unidade de área por unidade de tempo. Durante os 40 minutos da sessão de coleta de ar (tempos 0, 20 e 40), ocorreu um incremento linear na concentração dos gases dentro da câmara estática. O coeficiente angular da equação da reta que descreve esse incremento linear na concentração correspondeu à taxa de emissão do gás (ppm min⁻¹ ou ppb min⁻¹).

O cálculo de emissão diária foi obtido pela conversão do fluxo durante a sessão de coleta (40 minutos) convertendo aos 60 minutos horários e 24 horas diários. O valor foi expresso em µg N-N₂O m⁻² h⁻¹. A emissão total acumulada em cada estação foi obtida pela multiplicação da emissão total diária, pelo intervalo de cada coleta avaliada.

2.3 Caracterização da urina e esterco

Amostras de urina de cada período de avaliação foram armazenadas sob refrigeração (-3°C) em recipiente de plástico. A concentração de N total da urina foi determinada

pelo método de Kjeldahl. O procedimento ocorreu através da digestão de uma alíquota de 10 mL de urina, com 7,5 mL de H₂SO₄ e 0,5 g de catalisador (sulfato de cobre e potássio). Posteriormente, as amostras digeridas foram transferidas para balão volumétrico e o volume completado para 100 mL. Em seguida procedeu-se a destilação através da adição de 25 mL de extrato e 30 mL de NaOH (32%) em tubos de digestão, onde 50 mL do destilado foi capturado em erlenmeyer contendo 20 mL de H₂SO₄ (0,02 M) e indicador fenolftaleína. A titulação procedeu-se com NaOH 0,02 M.

Amostras de esterco foram secas a 60°C para a determinação de massa seca (MS), posteriormente, uma alíquota foi moída até passar em peneira 2 mm e 20 mg foi pesada para a determinações de C e N, por combustão seca, em analisador elementar Vario EL III (Elementar Analysensysteme GmbH, Alemanha).

2.4 Parâmetros de solo

2.4.1 Nitrogênio inorgânico (NH₄⁺ e NO₃⁻)

Para cada tratamento, nos três blocos a nas estações de inverno e primavera foi aplicado dejetos em microparcela extra, com a finalidade de monitorar a concentração de N inorgânico do solo. Durante cada evento de coleta de amostra de ar, amostras de solo da camada 0-5 cm foram coletadas com trado calador. No caso da microparcela com esterco, tomou-se cuidado de não contaminar a amostra de solo com o resíduo do esterco. As amostras, ainda com umidade do campo, foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob congelamento (máximo 15 dias) até as análises químicas.

A extração de NO₃⁻ e NH₄⁺ foi procedida por solução de KCL 2M e a determinação da concentração foi feita por espectrofotometria de absorção no ultravioleta (Bremner, 1965; Howell & Frank. J. 1975). Para a determinação de NO₃⁻, uma alíquota de 1 mL do extrato foi adicionada a 0,2 mL de H₂SO₄ (10%), completando o volume a 5 mL, sendo realizada a leitura

com comprimento de onda de 210 nm. A determinação de NH_4^+ foi realizada pelo método do fenato, com a mistura de 0,5 mL do extrato, 0,2 mL de solução fenol, 0,2 mL de nitroprussato sódico e 0,5 mL de solução oxidante, completando o volume a 5 mL. A leitura foi feita com comprimento de onda de 640 nm.

2.4.2 Porosidade preenchida por água (PPA)

Amostras de solo da camada de 0-5 cm foram coletadas em anéis volumétricos (56 mm de diâmetro x 30 mm de altura) em seis pontos aleatórios no experimento, no final do experimento na estação de primavera. Para cada ponto amostral, foram retiradas três amostras e determinou-se a densidade do solo pela secagem das amostras a 105 °C. Com base na densidade do solo determinou-se a porosidade total. Em cada evento de coleta de gases foi procedida a coleta de solos, com trado calador, na profundidade de 0-5 cm, posteriormente, o material foi seco a 105 °C e determinado a umidade gravimétrica. Conhecendo-se a umidade gravimétrica e a porosidade do solo, calculou-se o PPA (Robertson & Groffman, 2007).

2.6 Fator de emissão de N₂O da urina e do esterco

O fator de emissão (FE) de N₂O a partir de urina e esterco foi calculado conforme equação proposta por De Klein *et al* (2003), que considera o total de N-N₂O emitido a partir da urina ou esterco em relação ao N total aplicado, conforme equação abaixo:

$$FE = \frac{N - N_2O \text{ total}_{(urina \text{ ou } esterco)} - N - N_2O \text{ total}_{(testemunha)}}{N - aplicado_{(urina \text{ ou } esterco)}} \times 100 \quad (2)$$

Onde N-N₂O_(urina ou esterco) é o N emitido na forma de N₂O a partir do tratamento com urina ou esterco; N-N₂O_(testemunha) é o N emitido na forma de N₂O a partir do solo sem aplicação de dejetos e N-aplicado_(urina ou esterco) é a quantidade de N aplicado através da urina ou do esterco.

2.7 Dados meteorológicos

Informações de precipitação pluviométrica diária e temperatura média diária do ar do ano de 2011 foram obtidas em estação meteorológica do Instituto Tecnológico SIMEPAR, situada a 10 km do experimento.

2.8 Análise estatística

A análise da variância dos resultados do fluxo de óxido nitroso foi realizada com auxílio do programa Assistat 7.6 Beta (Silva & Azevedo, 2009). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey considerando a probabilidade de erro de 5 e 10%.

3 RESULTADOS

3.1 Precipitação pluviométrica e temperatura do ar

A precipitação acumulada foi de 687, 555 e 365 mm nas estações de avaliação de verão, inverno e primavera, respectivamente (Figura 2), evidenciando o verão como a estação mais chuvosa. A temperatura média diária do ar foi de 20,3 °C no verão, diminuiu para 14,0 °C no inverno e subiu para 17,5 °C na primavera. No verão, a maior temperatura média diária foi 23,6 °C no dia 29/01/2011, e no inverno a menor temperatura média diária foi de 5,8 °C no dia 27/06/2011 (Figura 2).

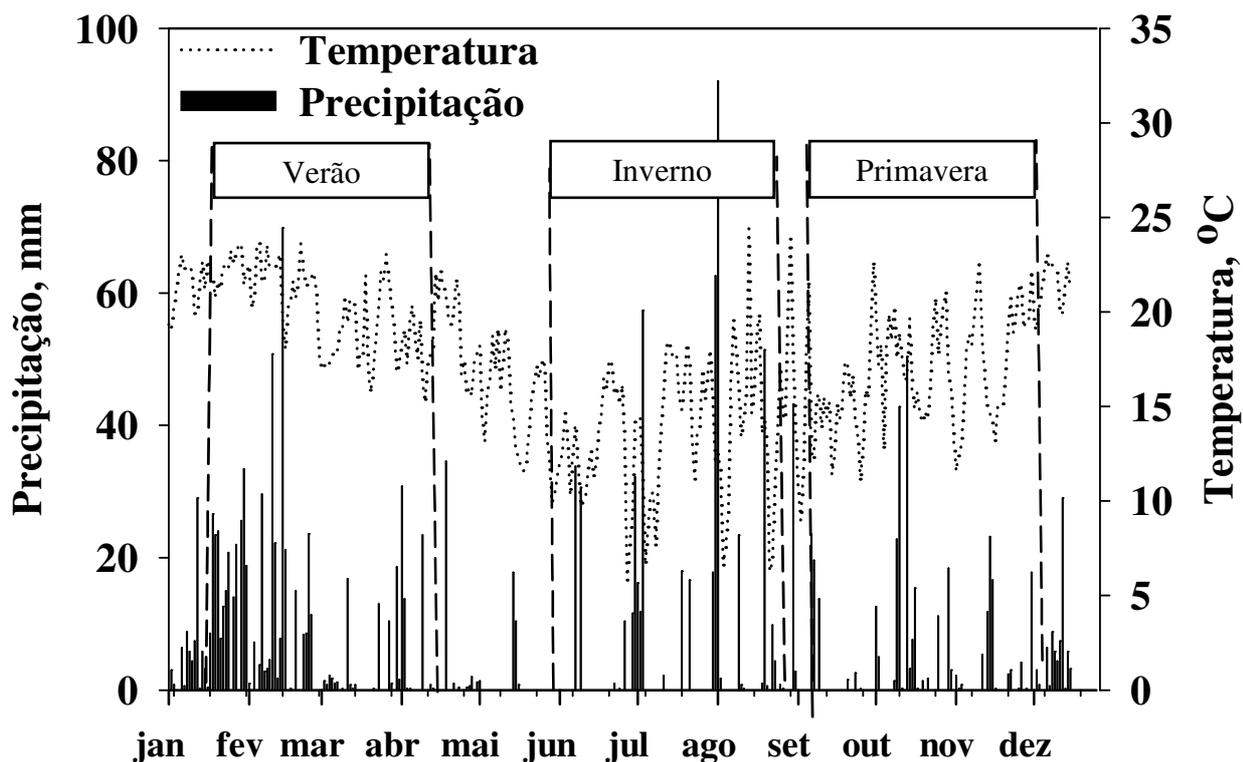


Figura 2: Precipitação diária e temperatura média diária durante o período de estudo, no ano de 2011. Fonte: Simepar, Curitiba - Paraná, 2011.

3.2 Característica dos dejetos

O teor de N da urina e conseqüentemente o total de N aplicado sobre o solo, foi maior no verão, menor no inverno e intermediário na primavera (Tabela 1). Para o esterco, a maior aplicação de N ocorreu na estação de primavera (Tabela 2). A deposição de N no solo com a urina foi aproximadamente o dobro daquela com o esterco (Tabela 1 e 2), com algumas variações entre as estações, que foram dependentes da concentração de N na fração do dejetos e do teor de água do esterco.

Tabela 1. Volume de urina por urinação por vaca, concentração de N na urina e dose equivalente de N aplicada em simulação de urinação sobre o solo (área de 0,083 m²), considerando a metade (U0.5), uma vez (U1.0) e uma vez e meia (U1.5) do volume médio de urinação por vaca. Pinhais – Paraná, 2011.

Estação	Volume de urina / urinação / vaca (mL) ⁽¹⁾	N (g L ⁻¹)	Aplicação equivalente de N (g m ⁻²)		
			U0.5	U1.0	U1.5
Verão	1970	11,0	131	262	393
Inverno	1970	7,5	88	178	267
Primavera	1970	9,3	110	221	331
Média (DP)	1970	9,3 ± 1,75	106 ± 15,9	212 ± 30,9	318 ± 46,3

⁽¹⁾ Volume médio por urinação obtido no verão e que foi replicado para as demais estações. DP = Desvio Padrão.

Tabela 2. Massa de esterco fresco por estercada por vaca (MF), massa seca (MS), concentração de C, concentração de N, relação C:N do esterco e dose equivalente de C e N aplicado em simulações de estercada sobre o solo (área de 0,083 m²), considerando a metade (U0.5), uma vez (U1.0) e uma vez e meia (U1.5) da massa média de estercada por vaca. Pinhais – Paraná, 2011.

Estação	MF (kg) ⁽¹⁾	MS (g kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹ MS)	N (g kg ⁻¹ MS)	C:N	C aplicado (g m ⁻²)			N aplicado (g m ⁻²)		
						E0.5	E1.0	E1.5	E0.5	E1.0	E1.5
Verão	3,370	127	375	20,4	18	967	1934	2901	52	105	158
Inverno	3,370	142	386	18,0	21	1109	2220	3338	53	104	156
Primavera	3,370	118	414	26,2	16	989	1983	2975	63	125	188
Média	3,370	129	392	22	18	1021	2046	3071	56	111	167
DP	-	12,1	20,1	4,2	3,0	129,3	258,9	388,3	13,0	27,1	40,7

⁽¹⁾ Peso médio por estercada obtido no verão e que foi replicado para as demais estações. DP = Desvio padrão

3.3 Nitrato, amônio e porosidade preenchida por água

Os maiores teores de N-NH_4^+ no solo, nos dois períodos avaliados, foram verificados entre um e 30 dias após aplicação dos dejetos, sendo mais elevados nos tratamentos com urina do que com esterco (Figura 3). Em ambas as estações ocorreram aumento dos teores de N-NO_3^- aos 20 dias após aplicação, coincidindo com diminuição dos teores de N-NH_4^+ . No entanto, observam-se claramente maiores teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no inverno e menor na primavera (Figura 3).

Em relação à contribuição dos tipos de dejetos para o aumento dos teores de N-NH_4^+ , estes sempre foram mais elevados nos tratamentos de urina, principalmente logo após a deposição no solo, mas aos 25 dias após aplicação ocorreram teores similares para urina e esterco.

Entre as doses de dejetos, ocorreu aumento dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- com o aumento da dose (Figura 3). Os valores de PPA foram maiores no verão, mantendo-se acima dos 60% em quase todo período (Figura 4). No inverno a precipitação pluviométrica foi mais baixa, no entanto a temperaturas mais amena permitiram condicionar o solo a manter a umidade, pela diminuição da evaporação, e possibilitou a manutenção da PPA acima de 50% na maior parte da estação, com valores frequentes acima de 60%. Na primavera, a precipitação pluviométrica acumulada foi a menor registrada entre os períodos no ano, fazendo com que a PPA ficasse com valores inferiores a 50% em boa parte da estação (Figura 4).

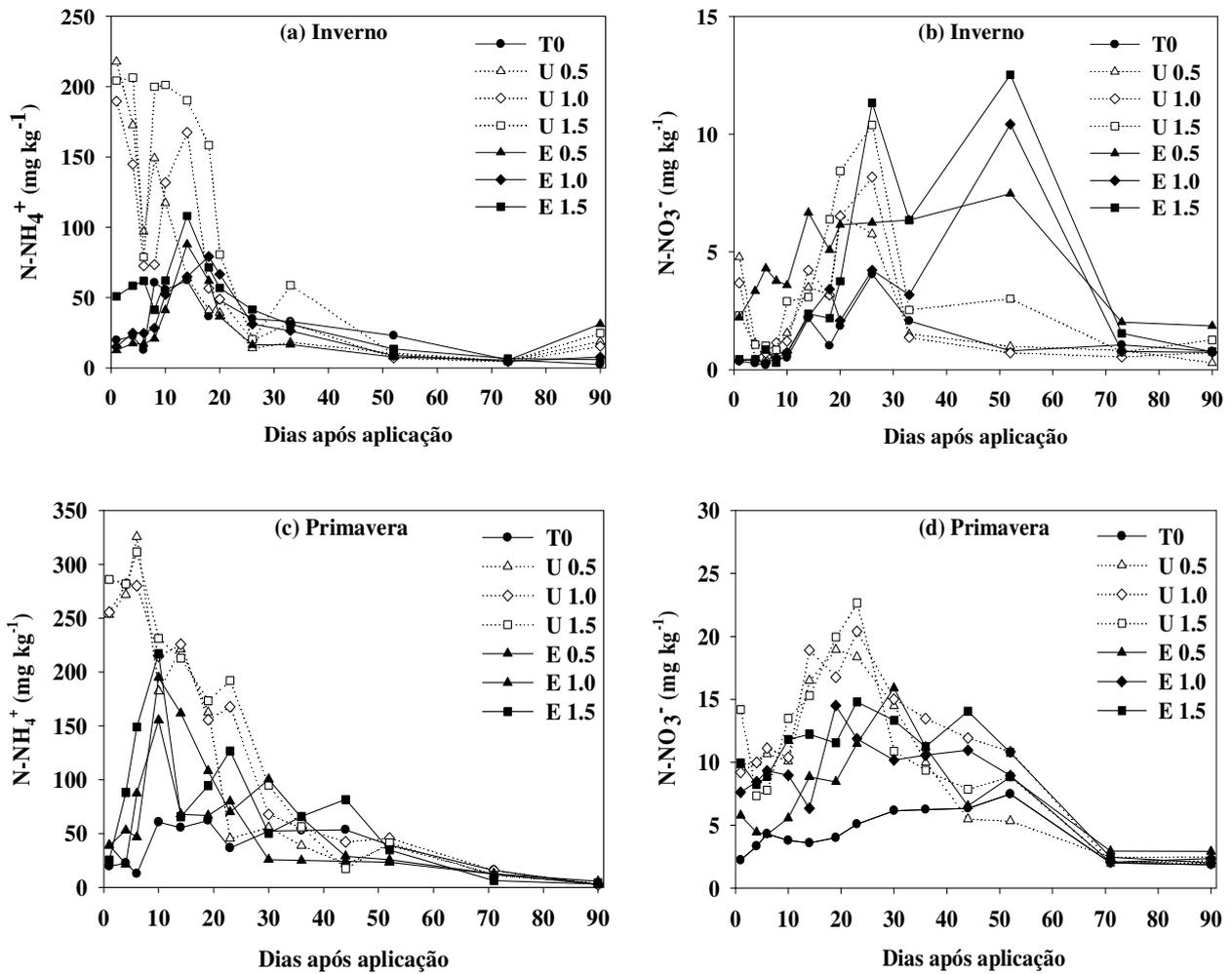


Figura 3. Concentração de N-NH_4^+ (a), N-NO_3^- (b) no inverno e N-NH_4^+ (c) N-NO_3^- (d) na primavera na camada de 0-5 cm do solo, a partir de urina e esterco. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterçada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterçada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterçada; T0 – Tratamento referência. Pinhais – Paraná, 2011.

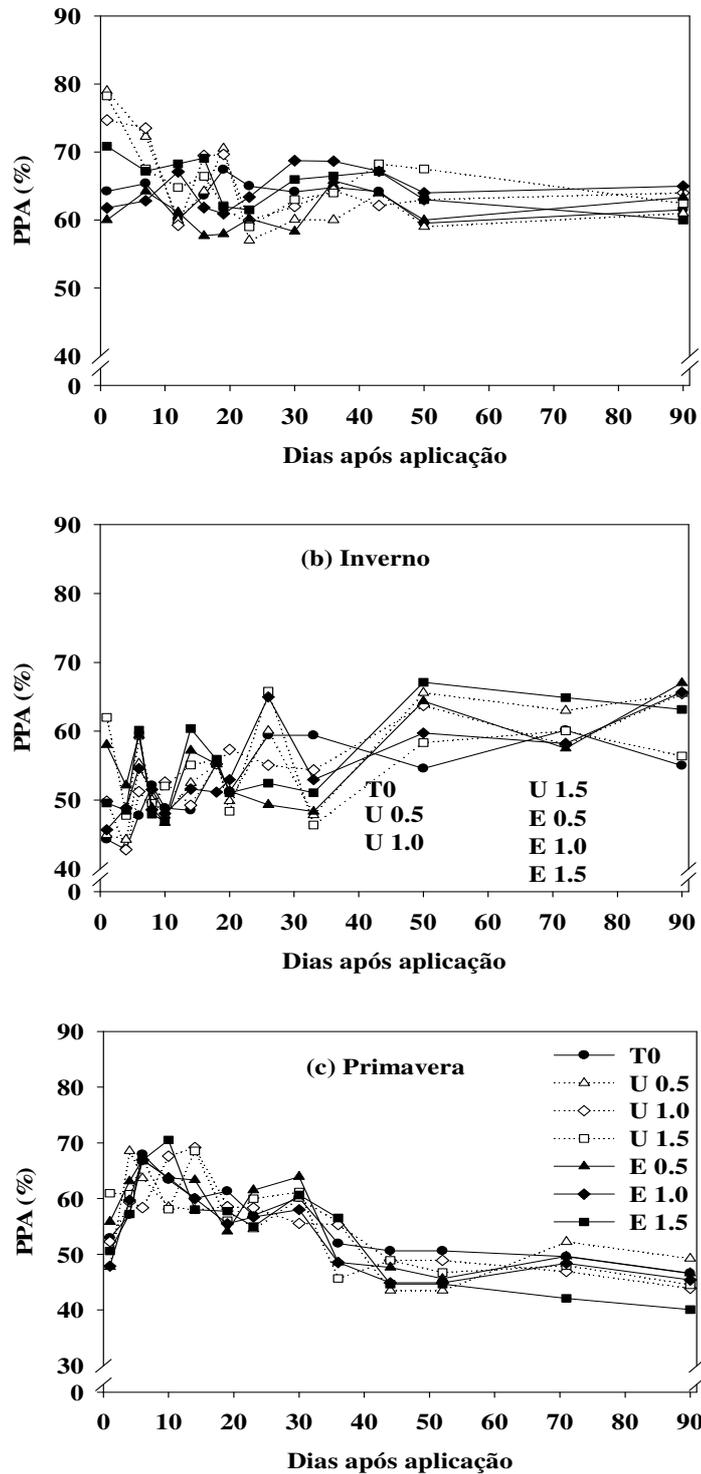


Figura 4. Porosidade preenchida por água (PPA) na camada de 0-5 cm do solo na estação de verão (a), inverno (b) e (C) primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterçada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterçada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterçada; T0 – Tratamento referência. Pinhais – Paraná, 2011.

3.4 Fluxo e emissão acumulada de N₂O a partir de urina e esterco

A emissão de N₂O foi praticamente nula um dia após aplicação de urina, mas atingiu picos máximos aos 12, 8 e 30 dias após aplicação no verão, inverno e primavera respectivamente (Figura 5). Após 30, 72 e 42 dias após aplicação no verão, inverno e primavera, respectivamente, a emissão do solo com urina foi praticamente nula.

A emissão a partir das três doses de esterco e nas três estações também foi baixa 1 dia após aplicação (Figura 5). Os picos de emissão ocorreram aos 7, 26 e 23 dias após aplicação no verão, inverno e primavera, respectivamente e a emissão voltou aos valores baixos depois de 30, 72 e 52 dias após aplicação, respectivamente para as mesmas estações.

Os maiores fluxos de emissão de N₂O a partir de urina no verão e inverno ocorreram na dose U1.0 com 3198 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e 695, 451 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente para as estações (Figura 5) e repercutiu na maior emissão acumulada (Tabela 3). Na primavera, onde o pico de emissão foi mais tarde, o maior fluxo (1136 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) ocorreu na maior dose (U1.5), que também apresentou a maior emissão acumulada. Para os tratamentos de urina, a emissão média acumulada por estação foi de 551,6 mg N-N₂O m². Para os tratamentos de esterco, a emissão média acumulada por estação foi de 217,8 mg N-N₂O m², ou seja 2,5 vezes maior na urina em relação ao esterco.

No esterco, os fluxos de emissão em praticamente todas as estações foram maiores na dose E1.5, intermediários em E1.0 e menores em E0.5 (Figura 5). A mesma tendência ocorreu para o total emitido em cada estação e na média anual (Tabela 3). O tratamento E1.5 obteve média acumulada por estação de 351,9 mg N-N₂O m², seguido de E0.5 com 158,1 mg N-N₂O m² e E1.0 com 143,4 mg N-N₂O m². O tratamento T0 obteve emissão média acumulada de 3,7 mg N-N₂O m² (Tabela 3).

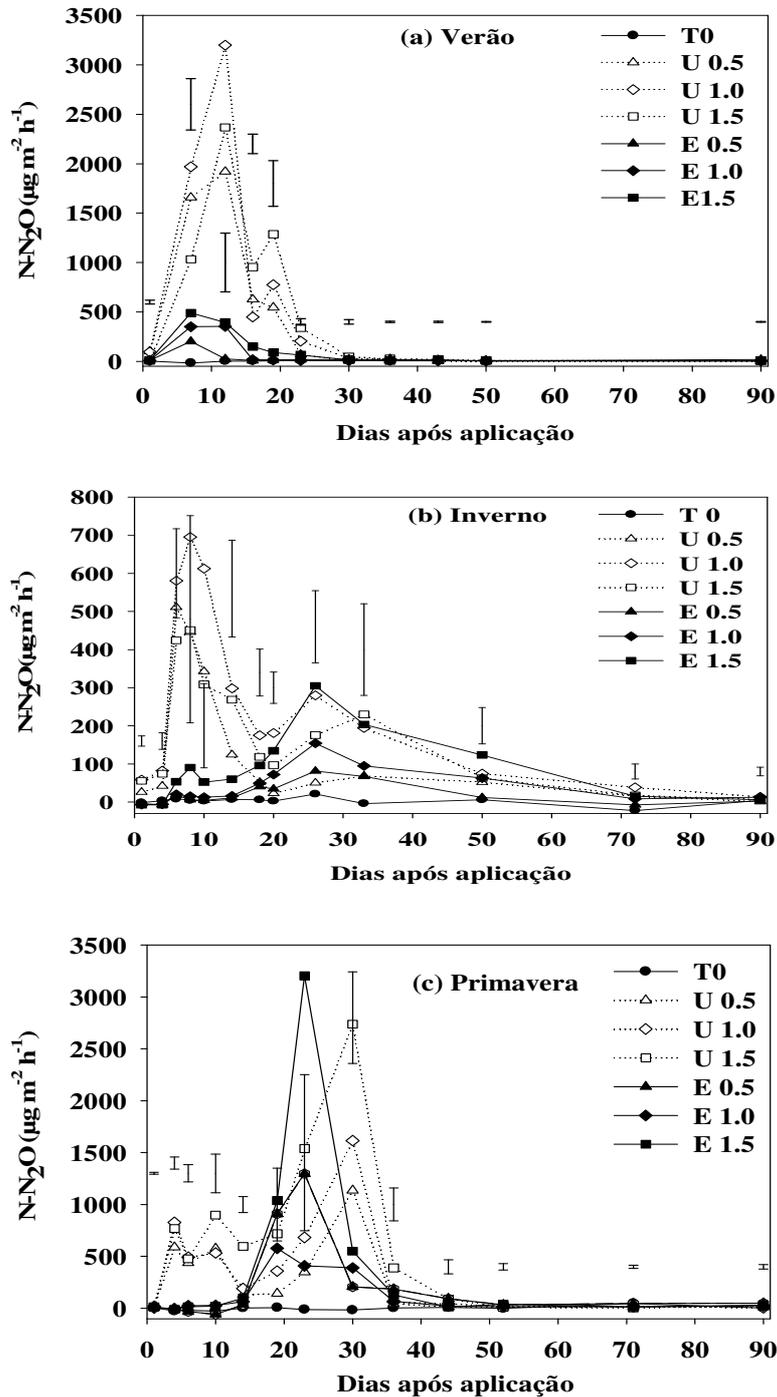


Figura 5. Fluxo de emissão N-N₂O a partir de urina e esterco aplicados diretamente em solo de pastagem, nas estações de (a) verão, (b) inverno e (c) primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterçada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterçada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterçada; T0 – Tratamento referência. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey ($p < 0,10$). Pinhais – Paraná, 2011.

Entre as estações, o inverno apresentou os menores fluxos de emissão de N_2O a partir da urina (Figura 5) e isso se expressou numa menor emissão acumulada no inverno (245,5 mg N- N_2O m^2) (Tabela 3). Na primavera ocorreu a maior emissão acumulada, com 711,3 mg N- N_2O m^2 e o verão com valores intermediários (698,3 mg N- N_2O m^2), ou seja, os fluxos na primavera foi 3 vezes maiores em relação ao inverno.

Para o esterco, tanto os fluxos de emissão (Figura 5), como a emissão acumulada (Tabela 3) foram menores no verão e inverno em relação a primavera. Em relação à média da emissão acumulada no verão e inverno (113,3 mg N- N_2O m^2), a emissão da primavera foi quatro vezes superior (426,8 mg N- N_2O m^2).

Em praticamente todas as estações, os fluxos de emissão de N_2O foram maiores com o volume equivalente a uma urinação, em relação à massa equivalente a uma estercada (Figura 5). Isso foi expresso na emissão acumulada, onde uma urinação (U1.0) emitiu em média quatro vezes mais N- N_2O em relação a uma estercada (E1.0) (Tabela 3).

Tabela 3. Emissão acumulada de N-N₂O a partir de urina e esterco aplicado diretamente em solo de pastagem, nas estações de verão, inverno e primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterçada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterçada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterçada; T0 – Tratamento referência. Pinhais – Paraná, 2011.

Tratamento	Verão	Inverno	Primavera	Média
----- mg N-N ₂ O m ⁻² -----				
T0	9,4 c	-2,3 d	11 e	3,7
----- Urina -----				
U0.5	590,4 b	152,4 abcd	427,4 cd	390,1
U1.0	817,2 a	332,3 a	610,5 bc	586,7
U1.5	686,5 ab	251,7 ab	1096,0 a	678,1
Media	698,1	245,5	711,3	551,6
----- Esterco -----				
E0.5	55,0 c	44,5 cd	286,1cd	158,1
E1.0	106,0 c	103,4 bcd	220,7d	143,4
E1.5	159,3 c	211,8 abc	371,6cd	351,9
Média	106,8	119,9	292,8	217,8

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p < 0,05).

3.5 Fator de emissão

Entre as doses, a U0.5 teve o maior FE médio (0,34% do N aplicado), sendo maior no verão, quando o FE dessa dose atingiu 0,44% do N aplicado. O FE na dose U1.0 foi de 0,26% e a dose U1.5 apresentou o menor FE médio (0,20% do N aplicado), ou seja, com o aumento da dose de urina houve diminuição do FE. Nas doses de esterco, os valores médios foram maiores em E1.5 e E0.5 na primavera, fazendo com que o fator médio seguisse a ordem crescente de $E0.5 > E1.5 > E1.0$ (Tabela 4).

Entre as estações de verão e inverno não ocorreram variações do FE entre as doses de esterco, sendo estes próximos a 0,10% do N aplicado. Já para a estação de primavera os valores do FE foram três vezes maior ($0,31 \pm 0,18\%$ do N aplicado) do que para verão e inverno. Para a urina, o maior FE foi observado na primavera com $0,33 \pm 0,06\%$, seguido do verão com $0,31 \pm 0,14\%$ e com menor fator de emissão o período do inverno ($0,16 \pm 0,05\%$) (Tabela 4). Entre os tipos de dejetos o FE médio considerando as três doses e as três estações avaliadas foi de $0,19 \pm 0,06\%$ para esterco e de $0,27 \pm 0,07\%$ para a urina (Tabela 4).

Apesar de alguns picos de emissão de N_2O ocorrerem de maneira associada ao aumento de temperatura, numa análise média entre os fatores de emissão de urina e esterco e as temperaturas durante as estações, não houve relação entre ambas. As únicas relações observadas foram entre o FE de U0.5 e U1.0 e as temperaturas das estações (Figura 6), tendo maior relação o tratamento U0.5 e menor em U1.0.

Tabela 4. Fatores de emissão de urina e esterco a partir de urina e esterco aplicado diretamente em solo de pastagem, nas estações de verão, inverno e primavera. U0.5 equivale a 0,5 vezes o volume médio de urinação; U1.0 equivale a 1,0 vez o volume médio de urinação; U1.5 equivale a 1,5 vezes o volume médio de urinação; E0.5 equivale a 0,5 vezes o massa média de esterçada; E1.0 equivale a 1,0 vez a massa média de esterçada; E1.5 equivale a 1,5 vezes a massa média de esterçada; T0 – Tratamento referência. Pinhais – Paraná, 2011.

Tratamentos	Verão	Inverno	Primavera	Média anual
	----- % -----			
U0.5	0,44 aA	0,17 aB	0,38 aA	0,34 a
U1.0	0,31 bA	0,19 aB	0,27 bcdAB	0,26 ab
U1.5	0,17 cB	0,10 aB	0,33 abcA	0,20 b
Média Urina*	0,31 ± 0,14	0,16 ± 0,05	0,33±0,05	0,27± 0,07
E0.5	0,08 dB	0,09 aB	0,44 aA	0,22 ab
E1.0	0,09 dB	0,10 aB	0,17 dA	0,11c
E1.5	0,10 dB	0,14 aB	0,19 cdA	0,18 bc
Média esterco*	0,09 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,27±0,15	0,19 ± 0,06

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos e médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre as estações. Teste Tuckey ($p < 0,05$). * Média da urina e do esterco com os respectivos desvios padrões.

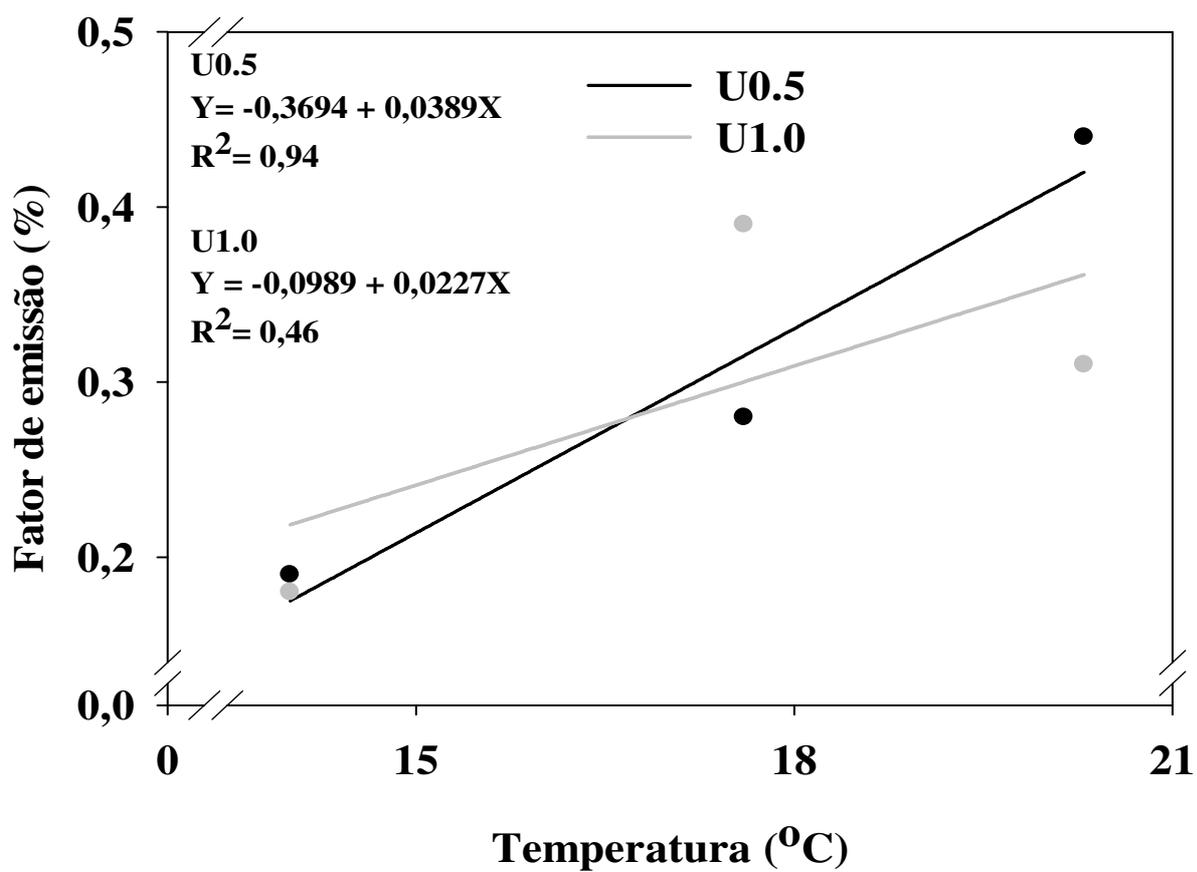


Figura 6. Relação entre fator de emissão médio de N₂O a partir dos tratamentos U0.5 e U1.0 e a temperatura média nas três estações avaliada. Pinhais – Paraná, 2011.

4 DISCUSSÃO

4.1 Fluxo e emissão acumulada de N₂O a partir de urina e esterco

Os fluxos de N₂O nas três estações avaliadas se elevaram após a deposição de urina no solo, com picos ocorrendo até os 30 dias após aplicação (Figura 5). Dados semelhantes foram encontrados por Groenigen et al., (2005), Maljanen et al., (2007), Yalmulki et al., (1997) e Uchida et al., (2011) que observaram maiores emissões imediatamente após a deposição do dejetto no solo.

Os fluxos de N₂O encontrados logo após a deposição de urina podem estar associados a proporção de N adicionado e ao volume de água que favoreceu a formação de sítios de anaerobiose no solo. Além disso, a maior disponibilidade de N na forma orgânica favorece a mineralização da matéria orgânica do solo, pela atividade microbiana, que tende a decompor esta fração do solo (Jenkinson et al., 1985). Para Williams et al. (1999), as maiores emissões de N₂O em manchas de urina, não são resultado direto da adição de nitrogênio, mas sim da mineralização da matéria orgânica. Yalmulki & Jarvis. (1997) relatam picos ocorrendo logo após a deposição da urina e altas emissões após eventos de chuva, o que ocorre pela saturação e anaerobiose criada pela água adicionada ao solo.

No esterco, houve menor fluxo de emissão de N₂O nas estações de verão e inverno (Figura 5), comportamento que pode ser atribuído ao N do dejetto estar na forma orgânica, mais resistente à degradação biológica. Nesta fração, ocorre liberação gradual do N, o que limita os processos de nitrificação e desnitrificação. No entanto, na primavera ocorreu um pico de emissão aos 22 dias após a aplicação do esterco (E1.5 e E0.5). Yalmulki et al., (1998) avaliando a emissão de N₂O a partir de esterco em pastagem, observaram picos aos 100 dias após aplicação. Para os mesmos autores o comportamento do fluxo de emissão está diretamente relacionado a

fatores ambientais como temperatura, umidade, radiação solar, o que pode afetar a taxa de emissão de N_2O entre as estações. Provocada por alguma alteração da atividade microbológica que pode ter sido intensificada em durante a coleta e fazendo com que ocorresse o pico de emissão de N_2O .

Nas estações de inverno e primavera foram avaliados os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo (Figura 3). Apesar de não haver correlação entre os teores dos elementos e a emissão de N_2O , observa-se que os picos de N_2O no inverno ocorreram com o aumento dos teores de NH_4^+ e diminuição dos teores de NO_3^- . Na primavera ocorreu aumento dos teores de NO_3^- e diminuição dos teores de NH_4^+ no solo. Essa variação dos fluxos de emissão coloca em pauta uma pequena discussão sobre a efetiva contribuição da nitrificação e desnitrificação, como fonte emissora de N_2O em manchas de urina e esterco. Para Veltho et al. (1997); De Klein et al. (2001) a contribuição dos processos vai depender das condições do solo, já que ambos processos são influenciados pela variabilidade dos atributos do mesmo.

Carter (2007), avaliando a contribuição da nitrificação e desnitrificação em manchas de urina sobre as emissões de N_2O , concluiu que ambos os processos são igualmente responsáveis pelas emissões de N_2O , sendo a intensidade do fluxo de emissão, causada pela combinação dos dois processos. Assim, a nitrificação é estimulada pela concentração de NH_4^+ e a desnitrificação favorecida pela alta conversão de NO_3^- da nitrificação e por condições anaeróbicas do solo. Outros estudos relatam que em manchas de dejetos, o processo de nitrificação pode ser a maior fonte de N_2O , principalmente em locais onde ocorrem condições aeróbicas e predomine a presença de NH_4^+ (Haynes & Williams 1993; Monaghan & Barreclough, 1993).

O aumento da dose de urina depositada no solo, não implicou em aumento da emissão de N_2O , ocorrendo os maiores picos de emissão em U1.0 e não em U1.5 (condição ocorrida no verão em inverno) (Figura 5). Estes fluxos podem estar ligados a maior anaerobiose no solo logo após a deposição da urina, o que leva a produção de N_2 em substituição ao N_2O . Isso pode

ocorrer durante as etapas de desnitrificação, onde as enzimas são induzidas principalmente em resposta à menor pressão de O_2 e disponibilidade de substrato. Em condições de campo, pode ocorrer fluxos diferenciais de NO , N_2O ou N_2 para a atmosfera (Robertson & Groffman, 2007).

Nestas condições a desnitrificação é largamente dependente das condições de alta umidade e a baixa concentração de O_2 , no entanto, os baixos fluxos de N_2O , principalmente na U1.5 podem ser atribuídas a grande quantidade de água depositada no solo, na qual favoreceu a emissão de N_2 em substituição ao N_2O . Neste contexto, se a PPA for 60 % a difusão do O_2 é limitada, o que promove a desnitrificação com a emissão de N_2O . Entretanto, a partir de 60-75% de PPA o N_2O é reduzido a N_2 , isto é, o N_2O é consumido (Dalal & Allen, 2008).

Para o esterco, o aumento da dose proporcionou aumento dos fluxos de emissão nas estações de verão e inverno, no entanto, na primavera esta relação não foi observada devido a maior emissão acumulada nos tratamentos E1.5 seguido de E0.5 (Tabela 4). O aumento dos fluxos de emissão nestas duas doses podem estar relacionados a intensa atividade microbológica ocorrida no período, uma vez que os maiores fluxos de N_2O ocorreram juntamente com os picos de emissão de CO_2 no período.

A variabilidade estacional sobre os fluxos de emissão de N_2O se deve principalmente a variação de temperatura e precipitação, ocorrida entre as estações. Este comportamento pode ter interferido na emissão acumulada de N_2O (Tabela 3). No verão, a maior emissão encontrada (média de 397,9 mg N- N_2O m⁻² em urina e esterco), decore principalmente pela alta temperatura e umidade, que podem ter maximizado os processos nitrificação e desnitrificação. Nesta estação, os fluxos de N_2O são maiores devido a maior umidade e temperatura do solo, o que pode aumentar os valores de PPA e favorecer o processo de desnitrificação, no entanto não foram encontrados correlações entre ambas variáveis. Vários estudos sobre fluxo de emissão de N_2O em solos agrícolas não apresentaram correlação significativa com a PPA (Piva, 2010; Jantalia et al., 2008; Metay et al., 2007; Pavei, 2005).

No presente trabalho não foram verificadas correlações entre as variáveis do solo e a emissão de N₂O. Velthof et al. (1996); Yamulki et al. (1997), também não encontraram correlações entre os fluxos de N₂O e variáveis ambientais. Allen et al. (1996) encontraram baixas correlações, e somente alguns poucos trabalhos observam relação linear entre o PPA e as emissões de N₂O em solos, como os realizados por Abbasi & Adams (2000) e Bhandral et al., (2007).

4.2 Fator de emissão

A variação do FE ocorrida entre as três estações avaliadas foram maiores com o aumento da temperatura, principalmente na primavera e verão e com menos intensidade no inverno (Tabela 4). Yamulki et al. (1997), em trabalhos semelhantes observaram maiores taxas de emissão de N₂O no outono (temperaturas mais amena) em relação ao verão (temperaturas mais elevadas). Groenigen et al., (2005) encontraram fatores médio de emissão em esterco que variaram de 0,67% (agosto de 2000) a 5,15% (outubro de 2000). No mesmo trabalho, os autores verificaram variações anuais de mais de 500% de um ano para outro.

O baixo fator de emissão no inverno pode estar relacionado à baixa atividade microbiológica, que tende a reduzir sua atividade em condição de baixa temperatura. Para a estação de verão e primavera, as altas temperaturas podem ter influenciado positivamente para o aumento da atividade microbiana aumento os fluxos de N₂O. No entanto, não foram verificadas relações entre o FE e a temperatura média ocorrida durante o experimento, apenas relações com os tratamentos U.05 e U1.0 e a temperatura. Uchida et al., (2011) encontraram interações significativas entre o FE ($p < 0,05$) e a temperatura do solo.

O aumento da dose de urina depositada no solo interferiu inversamente no fator de emissão, sendo que o aumento da dose converteu em menor fator de emissão (Tabela 4). Esse comportamento pode ocorrer devido às perdas de N por lixiviação e volatilização, nas quais não

foram contabilizadas, além das já mencionadas perdas de N_2 pelo processo de desnitrificação. Chadwick et al., (2011) a amplitude do fator de emissão de N_2O pela deposição de urina está sujeita a variações, que irão depender da concentração de N na urina, do volume de água e dos valores de porosidade preenchida por água.

A variação do conteúdo de N aplicação no solo pode ter interferência direta sobre o FE. No presente estudo, a aplicação média de N pela urina foi de 1060, 2120 e 3180 kg N ha⁻¹ para os respectivos tratamentos U0.5, U1.0 e U1.5. No tratamento U0.5 a dose de deposição foi similar a relatado por Haynes e Willians (1993) que citam valores equivalentes de 1000 kg N ha⁻¹ em manchas de urina e Oenema et al (1997) que relatam variações de 200 a 800 kg ha⁻¹. No entanto, os tratamentos U1.0 a taxa de aplicação foi 112% superior a maior taxa de aplicação citada na literatura e para o tratamento U1.5 a aplicação foi 218% superior as citadas na literatura.

Para o esterco, a aplicação de N correspondeu a uma aplicação de 560, 1110 e 1670kg N ha⁻¹ nas respectivas doses E0.5, E1.0 e E1.5. Aplicação estas semelhante as relatadas por Oenema et al (1997) que citam variações de 500 a 2000 kg N ha⁻¹ e Haynes & Willians (1993) 1040 kg N ha⁻¹. No entanto, mesmo os valores de N aplicados via esterco estando dentro de uma faixa citada pela literatura, os FE ficaram muito abaixo dos 2% preconizados pelo IPCC.

Oenema et al (1997), relatam fatores de emissão para esterco em pastagens de 0,1% a 0,75%, e para urina variou de 0,1% a 3,8%. Yalmulki et al. (1998), encontraram fatores de emissão para urina de 0,02% a 1%, e para esterco de 0,04% a 0,53%. De Klein et al., (2003), observaram fator de emissão em urina de 0,3% a 2,5%. Van der Weerden et al (2011) encontraram FE de 0,29% para urina e 0,04% para esterco.

Neste sentido, os fatores de emissão encontrados no presente trabalho condizentes aos FE relatados na literatura, no entanto, abaixo dos 2% propostos pelo IPCC (IPCC, 2006) e adotados pelo Ministério da Ciência, Tecnologias e Inovação (MCTI) para formulação dos inventários

nacionais dos GEE da Agricultura Brasileira (BRASIL, 2010). Destacando-se que as emissões de N_2O possuem dependências do total de N excretado, composição da dieta fornecida aos animais, volume de concentrado e categoria animal, (Whitehead, 1995). Tais parâmetros devem ser levados em consideração em novos estudos sobre as emissões de N_2O , e com isso abarcar todas variáveis temporais e físicas que podem refletir no fator de emissão, no Subtrópico Brasileiro, formando um fator de emissão condizente com as particularidades locais.

5. CONCLUSÕES

O fator de emissão de N_2O a partir de esterco e urina de bovinos em pastagem no subtropical Brasileiro é inferior aos dos 2% propostos globalmente pelo IPCC, possivelmente devido às particularidades locais, que podem estar reduzindo o potencial emissor de N_2O nos dejetos em pastagens.

O fator de emissão de N_2O da urina ($0,27 \pm 0,07\%$) é maior que do esterco ($0,19 \pm 0,06\%$), pois na urina o N está na forma de uréia, que é facilmente hidrolisada, permitindo potencializar os fluxos totais de N_2O em relação ao esterco.

As maiores emissões ocorreram entre os 6 a 30 dias após aplicação da urina ou esterco, decorrendo principalmente pela rápida conversão do N da urina e esterco em formas N gasosas e sendo potencializadas pelos fatores ambientais, como temperatura e umidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos trabalhos tem mostrado variação dos fatores de emissão, que podem ser atribuídos principalmente às condições climáticas, de dejetos e de metodologia adotada na aplicação dos dejetos. A proposta de obter um fator de emissão condizente com as particularidades locais, só será possível com novos estudos de emissão de gases em esterco e urina os correlacionando com os atributos do solo (porosidade, pH, textura, teor de MO). Juntamente com as avaliações de emissão de gases em diferentes categorias de animais (novilhos, vacas lactantes, vacas secas, gado de corte) e em diferentes fontes de alimentação.

Outros parâmetros a serem ressaltados são referentes ao ajuste da dose nas microparcels, ocorrendo através da diminuição da dose a ser aplicada, ou pela ampliação do tamanho da base. Outro aspecto importante a ser observado é a contabilização das emissões indiretas de N_2O , nas quais não foram contabilizadas no presente trabalho.

Como forma mitigadora da emissão de GEE de dejetos em pastagens, propõe-se avaliar a utilização de inibidores de uréase (NBPT) e inibidores de nitrificação (Dicianodiamida).

7. LITERATURAS CITADAS

ABBASI, M.K.; ADAMS, W.A. Gaseous N emission during simultaneous nitrification–denitrification associated with mineral N fertilization to a grassland soil under field conditions. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1251–1259. 2000.

ALLEN, A. G.; JARVIS, S. C.; HEADON, D. M. Nitrous oxide emissions from soil due to inputs of nitrogen from excreta return by livestock on grassland in the U.K. *Soil Biology & Biochemistry*, 28, 597-607. 1996.

BRAMNER, J. M. Organic forms of nitrogen. In BLACK, C .A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Madison: ASA/SSSA, 1965. P.1238-1255.

BHANDRAL, R.; SAGGAR, S.; BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J. Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction. *Soil & Tillage Research* 94, 482–492. 2007.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Contém informações sobre o segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 2010. Relatórios de Referência: Emissões de Óxido Nitroso de Solos Agrícolas e Manejo de Dejetos. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922.html>. Acesso em 13/09/2010. 2010.

CARTER, M. S. Contribution of Nitrification and Denitrification to N₂O Emissions from Urine Patches. *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 2091–2102, 2007.

CHADWICK, D.; SOMMER, S.; THORMAN, R.; FANGUEIRO, D.; CARDENAS, L.; AMON, B.; MISSELBROOK, T. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology*. 18 p. 2011.

DALAL, R. C.; ALLEN, D. E. Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. *Australian Journal of Botany*, 56, 369–407, 2008.

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

DE KLEIN, C. A. M.; SHERLOCK, R. R.; CAMERON, K. C.; VAN DER WEERDEN, T. J. Nitrous oxide emissions from agricultural soils in New Zealand - a review of current knowledge and directions for future research. *Journal of The Royal Society of New Zealand*, Volume 31, 2001.

GROENIGEN, V, J.W.; VELTHOF, G. L.; VAN DER BOLT, F. J. E.; VOS, A.; KUIKMAN, P. J. Seasonal variation in N₂O emissions from urine patches: Effects of urine concentration, soil compaction and dung . *Plant and Soil*. 273: 15–27, 2005.

GROENIGEN, V, J.W.; KOOL, D.M.; VELTHOF, G.L.; OENEMA, O.; KUIKMAN, P.J. Mitigating N₂O emissions from urine patches in pastures. *International Congress Series*. 1293: 347– 350, 2006.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49, 119-199. 1993.

HOWELL, F. N. & FRANK. J. *Standard methods of chemical analysis*. 6. ed. 1975.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. Rio de Janeiro, 2010.

IPCC, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 11. N₂O Emissions from Managed Soil, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. Reference Manual. (IPCC/OECD/IEA: Paris), 2006.

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

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called "priming effect". *J. Soil Sci.*, 36:425- 444, 1985.

MALJANEN, M.; MARTIKKALA, M.; KOPONEN, H. T.; PERTTU, V.; MARTIKAINEN, P. J. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from experimental excreta patches in boreal agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 914–920, 2007.

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

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

MONAGHAN, R. M.; BARRACLOUGH, D. Nitrous oxide and dinitrogen emissions from urine-affected soil under controlled conditions. *Plant and soil*. 151, 127-138. 1993.

OENEMA, O.; VELTHOF, G.L.; YARNULK S. I.; JARVIS. S.C. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use and Management* 13, 288-295. 1997.

PAVEI, M. A. Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR), 2005. 114p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em ecologia de agroecossistemas, Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba- SP, 2005.

PARKIN, T.; MOSIER, A.; SMITH, J.; VENTEREA, R.; JOHNSON, J.; REICOSKY, D.; DOYLE, G.; MCCARTY, G. & BAKER, J. Chamber-based trace gas flux measurement protocol. USDA-ARS GRACEnet, 2003.

ROBERTSON, G. P. GROFFMAN, P. M. Nitrogen Transformations. IN: ELDOR, A. P. Soil microbiology e ecology and biochemistry. 3. ed., Elsevier, USA. 2007.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: World Congress On Computers In Agriculture, v. 7, Reno-NV-USA: American. Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

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. *Eur. J. Soil Sci.*, 54:779–791, 2003.

UCHIDAM, Y. CLOUGH, T. J. KELLIHER, F. M. HUNT, J. E. SHERLOCK R. R. Effects of bovine urine, plants and temperature on N₂O and CO₂ emissions from a sub-tropical soil. *Plant Soil* 345:171–186. 2011.

VAN DER WEERDENA, T. J.; LUOB, J.; DE KLEIN, C. A.M.; HOOGENDOORN, C. J. LITTLEJOHN, ROGER P.; RYS, G. J. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141 426– 436. 2011.

VELTHOF, G. L.; JARVIS, S. C.; OENEMA, O. Spatial variability of nitrous oxide fluxes from grasslands: Differences between soil types. In: JARVIS, S. C.; PAIN B. F. *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. CAB International, 452 pg. 1997.

VELTHOF, G. L.; JARVIS, S. C. STEIN, A.; ALLEN, A. G. OENEMA, O. Spatial variability of nitrous oxide fluxes in mown and grazed grassland on a poorly clay soil. *Soil, Biology & Biochemistry*. 28. 1215-1225. 1996.

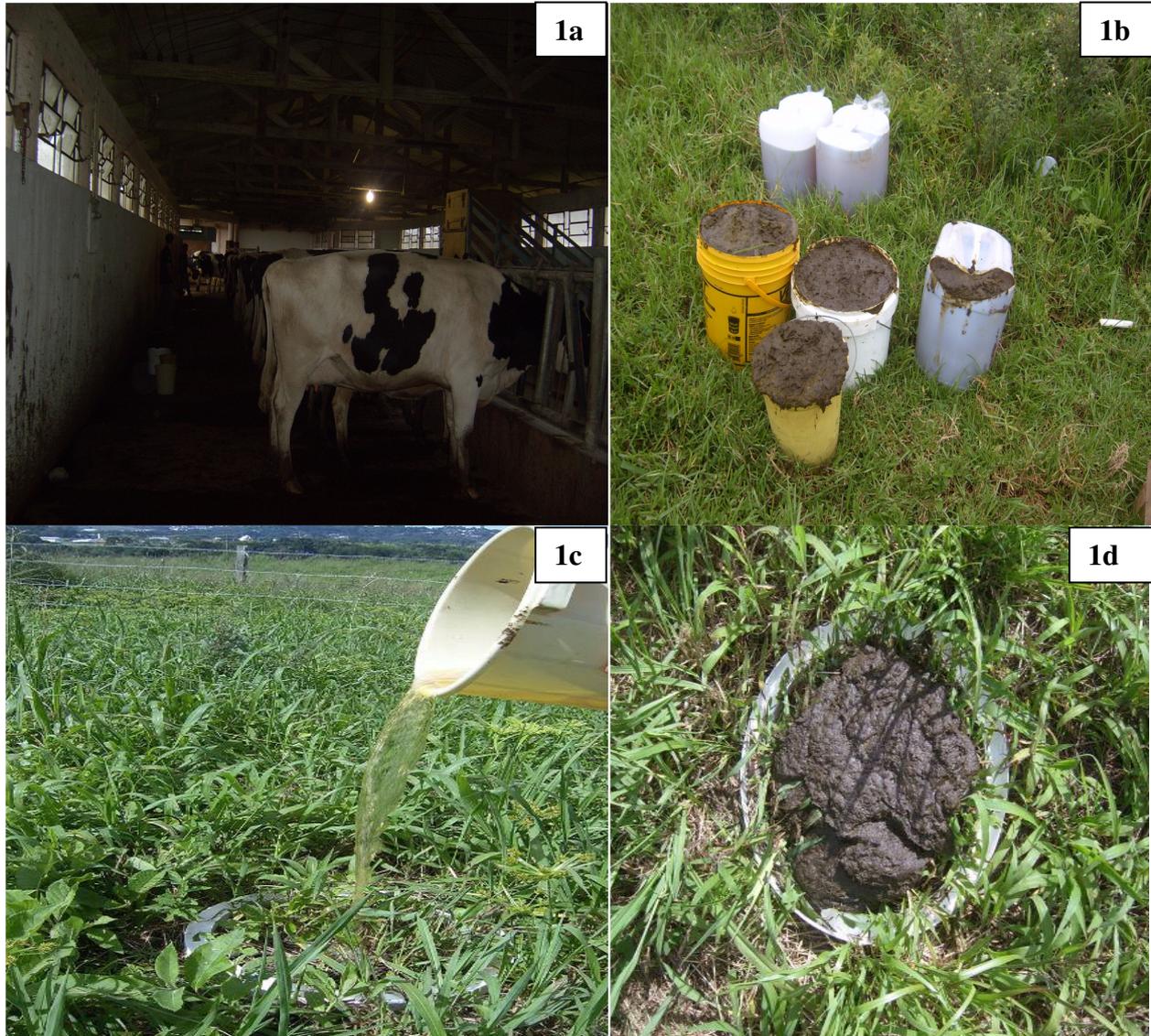
WHITEHEAD, D. *Grassland Nitrogen*. Department of Soil Science, University of Reading UK. 1995. CAB International, 1995.

YAMULKI, S.; JARVIS, S. C. Nitrous oxide emissions from excreta from simulated grazing pattern and fertilizer application to grassland. IN: JARVIS, S. C.; PAIN, B. F. *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. CAB International. 452 p. 1997.

YAMULKI, S.; JARVIS S.C.; OWEN P. Nitrous oxide emissions from excreta applied in a simulated Grazing pattern. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 30, 491-500.1997.

YAMNULKI, S.; JARVIS, S.C. Short-term effects of tillage and compaction on nitrous oxide, nitric oxide, nitrogen dioxide, methane and carbon dioxide fluxes from grassland. *Biol Fertil Soil*. 2002. 36:224-231.

8. APÊNDICE



Apêndice 1. 1a. Animais da fazenda estábulados para coleta dos dejetos. **1b.** Urina e esterco coletado. **1c.** Aplicação da urina nas microparcelas. **1d.** Esterco aplicado nas microparcelas.



Apêndice 2. 2a. Seringas de coletas de gases na microparcela. **2b.** Distribuição das câmaras de coletas de gases

RESUMO BIOGRÁFICO

André Sordi, filho de Vilson e Maria Begnini Sordi, nasceu em 02 de maio de 1982 em Quilombo– SC. Filho de pequenos agricultores viveu até os 23 anos no município de Irati-SC. Coursou as séries iniciais em escolas públicas municipais e estaduais do município, se formando no ensino médio na Escola de Educação Básica Professor Celso Rilla em 2000. Em 2004 prestou vestibular para o curso de agronomia pela Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó-SC, ingressando no curso em 2005, graduando-se em 2009. De fevereiro de 2010 a abril de 2011, realizou o Curso de Mestrado em Ciência do Solo, na área de concentração em solos e ambiente, linha de pesquisa em qualidade, manejo e conservação do solo e da água, sob orientação do Prof. Jeferson Dieckow, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – “UFPR”.