

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Emissões de N<sub>2</sub>O do Solo sob Pastagens de  
Braquiária Manejadas com Adubação Nitrogenada  
ou Consorciadas com Leguminosas Forrageiras**

**Israel Oliveira Ramalho**

**2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**EMISSÕES DE N<sub>2</sub>O DO SOLO SOB PASTAGENS DE BRAQUIÁRIA  
MANEJADAS COM ADUBAÇÃO NITROGENADA OU  
CONSORCIADAS COM LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS**

**ISRAEL OLIVEIRA RAMALHO**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Robert Michael Boddey**

*Sob a Coorientação dos Professores*  
**Bruno Grossi Costa Homem  
e Robert de Oliveira Macedo**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ  
Janeiro de 2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R165e	<p>Ramalho, Israel Oliveira, 1992- Emissões de N<sub>2</sub>O do solo sob pastagens de braquiária manejadas com adubação nitrogenada ou consorciadas com leguminosas forrageiras / Israel Oliveira Ramalho. – Seropédica, 2023. 96 f.: il.</p> <p>Orientador: Robert Michael Boddey. Tese (Doutorado). – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, 2023.</p> <p>1. Fator de emissão. 2. Metanálise. 3. <i>Macrotyloma axillare</i>. I. Boddey, Robert Michael, 1948-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Agronomia - Ciência do Solo. III. Título.</p>
-------	---

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (CIÊNCIAS DO SOLO)



HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO Nº 1 / 2023 - CPGACS (12.28.01.00.00.00.27)

Nº do Protocolo: 23083.006453/2023-77

Seropédica-RJ, 07 de fevereiro de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO

ISRAEL DE OLIVEIRA RAMALHO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

TESE APROVADA EM 31/01/2023.

Robert Michael Boddey. Dr. Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)

Adelson Paulo de Araújo. Dr. UFRRJ

Nivaldo Schultz. Dr. UFRRJ

Cláudia de Paula Resende. Dra. MAPA

Daniel Rume Casagrande. Dr. UFLA

(Assinado digitalmente em 09/02/2023 18:26 )  
ADELSON PAULO DE ARAUJO  
DATS (11.39.00.35)  
Matrícula: 1104775

(Assinado digitalmente em 08/02/2023 10:32 )  
NIVALDO SCHULTZ  
DeptS (12.28.01.00.00.00.33)  
Matrícula: 2136627

(Assinado digitalmente em 07/02/2023 15:27 )  
CLÁUDIA DE PAULA REZENDE  
CPF: 396.153.086-68

(Assinado digitalmente em 08/02/2023 15:20 )  
ROBERT MICHAEL BODDEY  
CPF: 644.889.777-15

(Assinado digitalmente em 08/02/2023 15:02 )  
DANIEL RUME CASAGRANDE  
CPF: 310.228.088-93

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp>  
informando seu número: **1**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO**, data

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Robert M. Boddey, pela paciência, confiança e ensinamentos. Estendo também os agradecimentos aos meus coorientadores, Dr. Robert Macedo e Dr. Bruno Homem.

A todos alunos do grupo de Ciclagem de Nutrientes, em especial ao João Borré e Rafael Cassador. A todos os alunos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) que passaram pelo Projeto Pegasus e contribuíram para a instalação do experimento, atual Laboratório de Ciclagem de Nutrientes em Pastagens Tropicais.

Aos Pesquisadores do grupo de Ciclagem de Nutrientes: Dr. Bruno Alves, Dra Cláudia Jantalia e Dr. Segundo Urquiaga, pelo apoio, contribuição na minha formação e efetiva participação nessa tese.

A todos os funcionários UFRRJ e Embrapa Agrobiologia que contribuíram para esse trabalho. Em especial ao Renato Moutinho e Roberto Gregio do Laboratório de Isótopos Estáveis Jonh Day, a Andréia Loviane do Laboratório de Cromatografia Gasosa, ao Eder, Ednelson, Altiberto e Selmo do Laboratório de Química Agrícola e ao técnico de campo Alderi.

A todos prestadores de serviço que trabalharam na instalação e manutenção do experimento. Em especial ao Anderson, João “bidoi”, Aelton, João operador de roçadeira, Marcelo, Damásio, Álvaro, Rafael e Rafael electricista.

A empresa Feno Rio, pelo empréstimo dos implementos agrícolas.

Ao pecuarista “Nininho”, pela concessão dos animais a ajuda na lida com os animais.

Ao Cruzeiro do Sul Alimentos pela concessão do peso de carcaça dos animais.

A Universidade Federal de Lavras, representada pelo professor Dr. Daniel Casagrande, pelas análises bromatológicas.

A minha família, que sempre me apoiou.

Agradeço as instituições: UFRRJ, a Embrapa Agrobiologia, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo e a CAPES pela concessão da bolsa.

## RESUMO GERAL

RAMALHO, Israel Oliveira. **Emissões de N<sub>2</sub>O do solo sob pastagens de braquiária manejadas com adubação nitrogenada ou consorciadas com leguminosas forrageiras.** 2023. 96f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Dos gases de efeito estufa (GEE) de maior importância na pecuária, o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) é um gás com maior potencial de aquecimento global em relação ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Em pastagens sua emissão ocorre principalmente devido a deposição no solo de excretas com alta concentração de N em condições de anaerobiose. Há uma grande incerteza a respeito dos fatores de emissão (FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>) de emissão direta e indireta para excretas bovinas em regiões tropicais. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi - Capítulo I: realizar uma revisão sistemática para compilar valores de FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub> de excretas de animais no Brasil e analisar o FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub> de excretas pela razão de FE<sub>urina</sub>:FE<sub>fezes</sub>; no Capítulo II: avaliar o sistema produtivo de pastos consorciados de *Urochloa brizantha* cultivar Marandu com *Macrotyloma axillare* (Consórcio) ou de Marandu em monocultura sem adubação (Controle) ou com adubação de 138 kg N.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (N-fert), sob lotação contínua; Capítulo III: mensurar emissões N<sub>2</sub>O, volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) de fezes e urina e realizar um balanço de massa do N da urina por meio da técnica de marcação com <sup>15</sup>N. No Capítulo I, os resultados da tentativa de estimar médias do FE para o Brasil foram satisfatórias e os valores foram semelhantes ao FE para clima úmido proposto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A abordagem estatística metanalítica se mostrou sensível para encontrar respostas entre os FE da urina em relação as fezes em fatores edáficos, grupo e dieta dos animais e duração do experimento. Corroborou também com a necessidade de desagregação entre fezes e urina, além de poder auxiliar na desagregação dos FE em demais condições ambientais. No Capítulo II, em comparação com o pasto de capim fertilizado (N-fert) e Controle, o Consórcio obteve uma dieta de maior conteúdo de proteína e maior digestibilidade, com uma maior ingestão de nitrogênio (N) pelos animais, sem aumentar a excreção N, perdas de N ou emissão de N<sub>2</sub>O. Os animais do tratamento Consórcio mantiveram o mesmo ganho de peso que do tratamento N-fert e Controle. Portanto, o uso de *M. axillare* tem potencial de ser uma ferramenta para mitigação de GEE em sistema de pastagem tropical. As chuvas mostram forte influência na qualidade do pasto e no desempenho animal. Entretanto, não se verificou diferença para os tipos de pastagem na qualidade do pasto e no desempenho animal. O clima também influenciou nos achados do Capítulo III. O clima afetou o destino do N após deposição da excreta no solo. O período das Águas foi mais susceptível a perda de N por lixiviação. Independentemente da época do ano, o solo é o maior destino do N da urina. Os FE's foram muito inferiores as médias compiladas pelo IPCC. O particionamento entre excreção de N-urina:N-fezes, também foi abaixo do estabelecido pelo IPCC (0,66:0,34). É recomendado, portanto, que mais estudos devam ser realizados para desagregação dos FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub> de excretas bovinas e o particionamento do N excretado por qualidade do pasto em clima tropicais.

**Palavras-chave:** Fator de emissão. Metanálise. *Macrotyloma axillare*.

## GENERAL ABSTRACT

RAMALHO, Israel Oliveira. **Soil N<sub>2</sub>O emissions under Brachiaria pastures managed with nitrogen fertilization or mixed with forage legumes.** 2023. 96p. Thesis (Doctor in Agronomy - Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Of the greenhouse gases (GHG) of greatest importance in livestock, nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) is one of the gases with the greatest potential for global warming compared to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). In pastures its emission occurs mainly due to the deposition of excreta with high N content on the soil under anaerobic conditions. There is great uncertainty regarding direct and indirect emission factors (EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub>) for bovine excreta in tropical regions. For this reason, the objectives of this study were - Chapter I: to carry out a systematic review to compile EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> values of excreta from animals in Brazil and to analyze the EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> of excreta by the FE<sub>urine</sub>:FE<sub>feces</sub> ratio; in Chapter II: to evaluate in mixed pastures of *Urochloa brizantha* cultivar Marandu with *Macrotyloma axillare* (Mixed) or of Marandu in monoculture without fertilization (Control) or with fertilization of 138 kg N.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> (N- fert), under continuous stocking; Chapter III: measure N<sub>2</sub>O emissions, volatilization of ammonia (NH<sub>3</sub>) from feces and urine and perform a mass balance of urine N using the <sup>15</sup>N labeling technique. In Chapter I, the results of the attempt to estimate mean values of EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> for Brazil were satisfactory and the values were similar to the EF for humid climate proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The meta-analytical statistical approach proved to be sensitive for finding responses between the EFs of urine and feces in relation to edaphic factors, group and diet of the animals and duration of the experiment. The results of these analyses emphasised the need for disaggregation between feces and urine, in addition were able to assist in the disaggregation of EF in other environmental conditions. In Chapter II, in comparison with the fertilized (N-fert) and Control grass pasture, the Mixed obtained a diet with a higher protein content and greater digestibility, with a higher nitrogen (N) intake by the animals, without increasing N excretion or direct emission or indirect N<sub>2</sub>O. The animals in the Mixed treatment maintained the same weight gain as in the N-fert and Control treatment. Therefore, the use of *M. axillare* can be a tool for GHG mitigation in a tropical pasture system. Rainfall showed a strong influence on pasture quality and animal performance. However, there was no difference between pasture types in pasture quality and animal performance. The climate also influenced the findings in Chapter III. Climate affected the fate of N after deposition of excreta in the soil. The Rainy period was more susceptible to N loss by leaching. Regardless of the time of year, soil is the major destination of urine N. The EF were much lower than the averages compiled by the IPCC. The partitioning between excretion of N-urine:N-feces was also below the value established by IPCC (0,66:0,34). It is recommended, therefore, that further studies should be carried out to disaggregate EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> from bovine excreta and the partitioning of N excreted by pasture quality in tropical climates.

**Keywords:** Emission factor. Meta-analysis. *Macrotyloma axillare*.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Histograma da distribuição dos FE das fezes e urina. ....12
- Figura 2.** Variáveis climáticas durante a condução dos experimentos, dados agrupados por clima tropical e temperado. ....14
- Figura 3.** Os resultados à direita o *forest plot* em subgrupo expressa a razão média entre os FE da urina e fezes e o seu intervalo de confiança a 95%, para textura e WFPS. Gráficos de barras a esquerda com valores de médias simples dos FE da urina e fezes em seus respectivos subgrupos. Barras verticais representam o erro padrão da média. ....15
- Figura 4.** Resultados representados à direita o *forest plot* em subgrupo expressa a razão média entre os FE da urina e fezes e o seu intervalo de confiança a 95%, para duração do experimento. Gráficos de barras a esquerda com valores de médias simples dos FE da urina e fezes em seus respectivos subgrupos. Barras verticais representam o erro padrão da média. ....17
- Figura 5.** Resultados representados à direita o *forest plot* em subgrupo da expressa a razão média entre os FE da urina e fezes e o seu intervalo de confiança a 95%, para dieta e grupo de animais. Gráficos de barras a esquerda com valores de médias simples dos FE da urina e fezes em seus respectivos subgrupos. Barras verticais representam o erro padrão da média. ....18
- Figura 6.** Gráfico de funil para a inspeção visual do viés. Dados dispostos pelo inverso da variância em relação ao da razão do FE da urina sobre o FE das fezes. ....19
- Figura 7.** Dados climáticos mensais da estação meteorológica automática Ecologia-RJ do INMET, durante os experimentos para avaliação da estrutura do dossel e produção animal divididos por época do ano, Águas e Seca. ....26
- Figura 8.** Croqui da área experimental. Cada polígono representa um piquete ou parcela. Separação dos piquetes dos tratamentos, consórcios de braquiária Marandu e *M. axillare* (Consórcio), monocultura de Marandu adubado com 138 kg N·ha<sup>-1</sup> (N-Fert) e marandu em monocultura sem adubação (Controle) e área para os experimentos de emissão de gases de efeito estufa e balanço de N da urina. ....27
- Figura 9.** (A) Proporção (%) de leguminosa na massa de forragem verde e a massa seca de leguminosa produzida (kg·ha<sup>-1</sup>) no dossel do tratamento Consórcio. (B) Proporção de leguminosa nas fezes (%) e proporção de leguminosa na massa de forragem verde (%). CB= composição botânica. ....35
- Figura 10.** Dados climáticos durante os experimentos da Seca (01/03/2022 – 31/07/2022) e das Águas (01/09/2021-28/02/2022). Linha tracejada separa os experimentos, intervalo entre as linhas tracejadas não houve avaliação. A) precipitação em mm e espaço poroso preenchido por água (WFPS, sigla em inglês, em %). B) Umidade relativa do ar em %, temperatura média de do ar e do solo em °C. Os dados da precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar foram obtidas da estação climática automática Ecologia do INMET, cerca de um km do experimento. ....57
- Figura 11.** Volatilização diária de N-NH<sub>3</sub> (A e B) e volatilização acumulada de N-NH<sub>3</sub> (C e D) de fezes e urina de bovinos que pastejaram Marandu em monocultura (Fezes mono e Urina mono), ou de Marandu em consórcio com *M axillare* (Urina cons e Fezes cons), capim Maradu com fertilização com 50 kg N-ureia (N-fert) e sem adição de fonte de N (Controle) nos primeiros 30 dias do experimento. As barras verticais correspondem erro padrão da média (n=6). ....59



**Figura 12.** Fluxo de N<sub>2</sub>O em µgN-N<sub>2</sub>O·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> de fezes e urina de bovinos que pastejaram Marandu em monocultura (Fezes mono e Urina mono), ou de Marandu em consórcio com *M axillare* (Urina cons e Fezes cons), capim Marandu com fertilização com 50 kg N-ureia (N-fert) e sem adição de fonte de N (Controle) nos primeiros 30 dias do experimento. As barras verticais correspondem erro padrão da média (n=6). .....60

**Figura 13.** Fator de emissão de N-NH<sub>3</sub> (FEN-NH<sub>3</sub> %) de excretas de bovinos que pastaram capim Marandu em monocultura (mono) ou Marandu em consórcio com *M. axillare* (cons), e fertilização com 50 kg de N-ureia (N-fert) na época Seca e das Águas. Desdobramento da interação entre a época do ano e fonte de nitrogênio para os FENH<sub>3</sub>. O tratamento fertilizado (N-Fert) foi conduzido apenas no experimento das Seca e não foi incluído na estatística. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas entre as médias (p<0,05) pelo teste LSD. Barras verticais representam o erro padrão da média (EPM). .....64

**Figura 14.** Concentração de Amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, A e B) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, C e D) no solo (~0-5 cm) nos primeiros 30 dias após a aplicação de excretas de bovinos que pastaram capim Marandu em monocultura (Mono) e capim Marandu em consórcio com *M. axillare* (cons), e fertilização com 50 kg N-ureia (N-Fert) na época Seca e das Águas. O tratamento N-fert foi aplicado apenas na época das Seca. Barras verticais representam o erro padrão da média. .....65

**Figura 15.** (A) Massa da parte aérea (g·m<sup>-2</sup>) e (B) concentração de N (%) da parte aérea do interior das câmaras de coleta de gás. Excretas de animais que pastaram em pasto de capim Marandu em monocultura e Marandu em consórcio com *M. axillare* na época das Águas e das Seca. O tratamento fertilizado com ureia (N-Fert) foi conduzido apenas no experimento da Seca não foi incluído na estatística. Interação entre fonte de nitrogênio e época do ano. Os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas (p<0,05) pelo teste LSD. Abreviações: monocultura (Mono), consórcio (Cons), controle (Ctrl). Barras verticais representam o erro padrão da média (EPM). .....68

**Figura 16.** Mapa com climas encontrados no Brasil e a localização dos fatores de emissão utilizados. Pontos azuis o locais das observações utilizadas nos estudos. No preenchimento em cores das áreas temos a classificação das zonas Climáticas do IPCC (2017). Delimitação do território brasileiro na feição com linha mais espessa. ....89

**Figura 17.** Fluxograma da revisão sistemática para elegibilidade ou exclusão. ....90

**Figura 18.** Concentrações de nitrato e amônio no solo após a aplicação dos tratamentos de excreta e tipo de gado e clima tropical e subtropical. ....92

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores de FE (%) médios de fezes e urina de bovino e ovinos para climas encontrados no Brasil conforme a classificação por zonas climáticas do IPCC (2006). Intervalo de confiança (IC) derivada da análise do método do inverso da variância. ....	13
<b>Tabela 2.</b> Resultado da análise de viés de publicação com base na correlação de Kendall entre o tamanho de efeito e variância amostral, na regressão de Egger entre o tamanho de efeito e o erro padrão e nos números seguros de Rosenthal1/ e Orwin2/. .....	19
<b>Tabela 3.</b> Caracterização química do solo do experimento no ano de 2019. ....	27
<b>Tabela 4.</b> Histórico de uso e manejo animal e do pasto. ....	28
<b>Tabela 5.</b> Massa seca (MS) de braquiária Marandu coma ou sem adubação, ou consorciado com <i>Macrotyloma axillare</i> , médias de coletas mensais durante a época da Seca e das Águas. ....	34
<b>Tabela 6.</b> Concentração de N (%) e C (%) no solo (0-20 cm) sob pasto de Marandu com <sup>a</sup> ou sem adubação nitrogenada ou consorciado com <i>Macrotyloma axillare</i> (três anos após estabelecimento do consórcio). ....	37
<b>Tabela 7.</b> Valor nutritivo do capim Marandu em monocultura sem ou com adubação de 138 kg N-urea·ha <sup>-1</sup> ·ano <sup>-1</sup> , ou consorciado com <i>Macrotyloma axillare</i> de uma avaliação na época das Águas e outra na época Seca. ....	39
<b>Tabela 8.</b> Dieta, consumo e digestibilidade aparente de pastagem de Marandu em monocultura sem ou com adubação de 138 kg N-urea·ha <sup>-1</sup> ·ano <sup>-1</sup> ou consorciado com <i>Macrotyloma axillare</i> de uma avaliação na época das Águas e outra na época Seca. ....	39
<b>Tabela 9.</b> Metabolismo de N e consumo de matéria orgânica digestível (CMOD) de amostras de pastagem de capim Marandu em monocultura sem ou com adubação de 138 kg N-urea·ha <sup>-1</sup> ·ano <sup>-1</sup> ou consorciado com <i>Macrotyloma axillare</i> , de uma avaliação na época das Águas e outra na época Seca. ....	41
<b>Tabela 10.</b> Produção de novilhos inteiros “azebuados” em pastejo contínuo de pasto de capim Marandu coma ou sem adubação, ou consorciado com <i>Macrotyloma axillare</i> , de uma avaliação durante as épocas das Seca e outra na época das Águas. ....	44
<b>Tabela 11.</b> Descrição dos atributos químicos e físicos do solo do experimento de gases e balanço de N da urina. ....	52
<b>Tabela 12.</b> Descrição da urina de animais que pastejaram capim Marandu em Monocultura ou no Consorciado com <i>M. axillare</i> na época da Seca e das Águas. ....	58
<b>Tabela 13.</b> Descrição das fezes de animais que pastejaram capim Marandu em Monocultura ou no Consorciado com <i>M. axillare</i> na época da Seca e das Águas. ....	58
<b>Tabela 14.</b> Fator de emissão de N-NH <sub>3</sub> (FENH <sub>3</sub> %) de excretas de bovinos que pastaram capim Marandu em monocultura ou capim Marandu em consórcio com <i>M. axillare</i> , e fertilização com 50 kg de N-ureia na época Seca e das Águas. ....	63
<b>Tabela 15.</b> Massa da parte área (g·m <sup>-2</sup> ) e concentração de N (%) da parte aérea do interior das câmaras de coleta de gás. Excretas de animais que pastaram em pasto de Marandu em monocultura e Marandu em consórcio com <i>M. axillare</i> na época das Águas e das Seca. ....	67
<b>Tabela 16.</b> Recuperação do nitrogênio da urina marcada com <sup>15</sup> N por pasto de capim Marandu. Urina de animais que pastaram em pastos de capim Marandu em monocultura ou consórcio. ....	70

<b>Tabela 17.</b> Massa de raiz e liteira ( $\text{g m}^{-2}$ ) nos tratamentos que receberam urina de animais com dieta de capim Marandu em monocultura e Marandu consorciado com <i>M axillare</i> , durante as épocas da Seca e das Águas. ....	74
<b>Tabela 18.</b> Critérios de equivalência para dados de solo. ....	91
<b>Tabela 19.</b> Informações bibliográficos dos artigos utilizados na revisão sistemática. ....	93

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CAPÍTULO I ESTIMATIVA DO FATOR DE EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DE EXCRETA DE RUMINANTES PARA INVENTÁRIO NACIONAL DE GASES DE EFEITO ESTUFA: UM ESTUDO DE CASO DO BRASIL .....	3
2.1 RESUMO.....	4
2.2 ABSTRACT.....	5
2.3 INTRODUÇÃO .....	6
2.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	8
2.4.1 Seleção e elegibilidade.....	8
2.4.2 Critérios para extração e tratamentos dos dados.....	8
2.4.3 Análise estatística.....	9
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
2.5.1 Distribuição dos dados .....	12
2.5.2 FE por clima encontrado no Brasil.....	12
2.5.3 Metanálise .....	14
2.6 CONCLUSÕES .....	20
3. CAPÍTULO II ESTRUTURA DO DOSSEL, PRODUÇÃO ANIMAL, CONSUMO E EXCREÇÃO DE N DE ANIMAIS EM MONOCULTURA DE BRAQUIÁRIA COM OU SEM ADUBAÇÃO OU CONSORCIADO COM LEGUMINOSA FORRAGEIRA .....	21
3.1 RESUMO.....	22
3.2 ABSTRACT.....	23
3.3 INTRODUÇÃO .....	24
3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.4.1 Localização e caracterização da área experimental .....	26
3.4.2 Experimento para avaliação da estrutura do dossel, produção animal, consumo e excreção de N de animais sob pasto de capim Marandu em monoculturas com ou sem fertilização nitrogenada ou consorciado com leguminosa forrageira .....	26
3.4.3 Massa de forragem .....	28
3.4.4 Nitrogênio derivado da atmosfera.....	28
3.4.5 Ganho de peso e rendimento de carcaça .....	29
3.4.6 Valor nutritivo da forragem .....	29
3.4.7 Consumo, produção fecal e urinária .....	31
3.4.8 Análise estatística.....	32
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.5.1 Massa da forragem .....	33
3.5.2 Nitrogênio derivado da atmosfera.....	37
3.5.3 Valor nutritivo, dieta, consumo e excreção de N.....	37

3.5.4 Produção animal.....	43
3.6 CONCLUSÕES .....	45
4. CAPÍTULO III EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE EXCRETAS E BALANÇO DE NITROGÊNIO DE URINA DE ANIMAIS QUE PASTARAM EM MONOCULTURA DE BRAQUIÁRIA OU CONSORCIADAS COM LEGUMINOSA FORRAGEIRA .....	46
4.1 RESUMO.....	47
4.2 ABSTRACT.....	48
4.3 INTRODUÇÃO .....	49
4.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	51
4.4.1 Experimento para quantificação de gases de efeito estufa de fezes e urina e balanço de massa do N da urina .....	51
4.4.2 Coleta e armazenamento das excretas.....	53
4.4.3 Quantificação das Emissões de N <sub>2</sub> O.....	53
4.4.4 Volatilização de Amônia.....	54
4.4.5 Marcação da Urina com Ureia Enriquecida com <sup>15</sup> N.....	54
4.4.6 Resultados auxiliares: N-mineral, temperatura do solo e espaço poroso ocupado por águas .....	55
4.4.7 Análise estatística.....	56
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.4.1 Experimento de avaliação de gases de efeito estufa e balanço de N .....	57
4.5.2 Caracterização das excretas.....	58
4.5.3 Volatilização de amônia, N <sub>2</sub> O e N-mineral.....	58
4.5.4 Produção de massa e concentração de nitrogênio na parte aérea.....	65
4.5.5 Balanço de massa da urina marcada com <sup>15</sup> N .....	68
4.6 CONCLUSÕES .....	75
5. CONCLUSÕES GERAIS .....	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
7. APÊNDICES .....	89

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

É inequívoco o aumento dos gases de efeito estufa (GEE) causados pela atividade humana e conseqüentemente o aquecimento da atmosfera, oceanos e da superfície dos continentes. Cada década tem sido sucessivamente mais quente que a anterior desde de 1850. Não há precedentes, numa escala de milhares de anos, nas mudanças que são registradas nos sistemas climáticos como um todo. Desde 1970 o aumento na temperatura tem sido mais rápido do que qualquer intervalo de 50 anos nos últimos 2000 anos. Em suma, os seres humanos têm induzido mudanças que já afetam o clima em muitas regiões do mundo. Eventos extremos têm sido observados com mais frequência, tais como ondas de calor, precipitações intensas, secas e ciclones tropicais. Medidas de mitigação devem ser adotadas, e mesmo com redução drástica nas emissões de GEE, a temperatura da superfície do planeta continuará subindo e excederá aumentos de 1,5 a 2,0°C nas próximas décadas (IPCC, 2021).

Os cálculos para estimativas do quanto cada país emite de GEE são baseados nos manuais do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2019). Cabe então a cada país, soberanamente, quantificar suas emissões conforme suas peculiaridades de clima, solo e modos de produção, por meio dos Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. Os inventários nacionais são auditados pelas Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Esse é um mecanismo de transparência que permite subsidiar planos de ação para redução da emissão de GEE. O Brasil firmou compromissos internacionais para minimizar as emissões de GEE, mais recentemente na COP 26 (2021), em Glasgow. Dentre as Contribuições Nacionais Determinadas (NDC- sigla em inglês) estão: restaurar e reflorestar, zerar o desmatamento ilegal, recuperar áreas de pastagens degradadas, aumentar a participação de energia renovável na matriz energética nacional. Com essas metas o Brasil reduziria em 50% suas emissões de GEEs até 2030.

No Brasil os setores com maior emissão de GEE são a mudança no uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (LULUCF), geração de energia, que inclui o setor de transporte (queima de combustíveis fósseis) e a agropecuária. No setor pecuário, as emissões são dominadas pelo metano, oriunda da fermentação entérica dos bovinos, seguidas das emissões de óxido nitroso [N<sub>2</sub>O] derivados dos dejetos dos animais, depositados no solo. É projetado que aumente o tamanho do rebanho brasileiro e conseqüentemente os GEE emitidos por ele, causado pela maior demanda interna e externa de carne. Uma forma para reduzir o impacto dos ruminantes nas mudanças climáticas globais é o aumento de produtividade, reduzindo as emissões por unidade de produto animal (CARDOSO et al., 2016b).

Dito isso, é importante quantificar *in situ*, a emissão de GEE em diferentes sistemas de produção e condições edafoclimáticas para alimentar os manuais do IPCC e inventários nacionais, principalmente em países da América Latina e África, que são menos representados. Cabe também à academia compilar dados já publicados e refinar os dados para melhor acurácia e melhor interpretação, conseqüentemente, contribuir para tomada de decisão mais adequada em políticas públicas.

Durante muito tempo a maioria das pastagens brasileiras eram mantidas com pouco ou nenhuma adubação, dependendo da queima e aproveitamento dos nutrientes das cinzas após o uso do fogo. Contudo, essa é uma prática nociva, uma vez que seu uso recorrente reduz a produtividade da pastagem, a área passa então a ser tomada por plantas daninhas, começa surgir solo exposto, processo denominado de degradação de pastagens. O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais limitantes ao desenvolvimento da gramínea C<sub>4</sub>, desta forma, entender o ciclo do N é a melhor maneira de fornecê-lo ao sistema e uma chave para evitar os processos de degradação (BODDEY et al., 2004).

Com eventuais quedas no preço do boi gordo associado com alto custo do fertilizante nitrogenado, reduzem a capacidade do empreendedor pecuário de aplicar fertilizante nitrogenado nas suas pastagens, o que resulta na queda na produtividade (DUBEUX et al., 2017). Empreendimentos pecuários de baixo *input* de insumos agrícolas, para entrar em consonância com o ambiente econômico, podem lançar mão de tecnologias resilientes e sustentáveis como o uso de leguminosas forrageiras em consórcio com gramíneas forrageiras. Devido a simbiose com rizóbios, leguminosas forrageiras têm grande potencial de aumentar a sustentabilidade de sistema pecuários, reduzindo a necessidade de fertilizantes industriais.

Diante o exposto os objetivos do Capítulo I – “Estimativa do fator de emissão de óxido nitroso de excreta de ruminantes para inventário nacional de gases de efeito estufa, um estudo de caso do Brasil” são: (i) encontrar lacunas de conhecimento a respeito dos FE das excretas bovinas e ovinas; (ii) Por meio de uma metanálise, avaliar a razão entre o FE da urina e das fezes para entender a relação entre as excretas. No Capítulo II, “estrutura do dossel, produção animal, consumo e excreção de N de animais nos sistemas em monocultura de braquiária com ou sem adubação ou consorciada com leguminosa forrageira” os objetivos são: avaliar o sistema produtivo de pastos consorciados de *Urochloa brizantha* cultivar Marandu com *Macrotyloma axillare* (Consórcio) ou de Marandu em monocultura sem adubação (Controle) ou com adubação de 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (N-fert), sob pastejo contínuo. No Capítulo III, “Emissão de gases de efeito estufa e balanço de nitrogênio de urina de animais que pastaram em monocultura de braquiária ou consorciadas com leguminosa forrageira”, foi mensurar emissões de N<sub>2</sub>O e volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) das fezes e da urina oriundas desses manejos e realizar o balanço de massa do N da urina por meio da marcação da urina pela técnica de <sup>15</sup>N.

## **2. CAPÍTULO I**

### **ESTIMATIVA DO FATOR DE EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DE EXCRETA DE RUMINANTES PARA INVENTÁRIO NACIONAL DE GASES DE EFEITO ESTUFA: UM ESTUDO DE CASO DO BRASIL**



## 2.1 RESUMO

As excretas bovinas apresentam papel preponderante nas emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) de solos agrícolas, um dos gases causadores de efeito estufa. A principal forma de projetar a dimensão da sua emissão, considerando o número de animais e o volume de excretas produzido, é pela razão de nitrogênio (N) perdido via g N- $N_2O$  e a quantidade de g N nas excretas. Essa relação é chamada de fator de emissão (FE). O objetivo desse trabalho foi compilar os FE de fezes e urina de bovinos e ovinos no Brasil por meio de uma revisão sistemática e avaliar a razão resposta entre os  $FE_{urina}:FE_{fezes}$  por meio de uma metanálise. A revisão sistemática foi conduzida com busca de artigos científicos nas principais editoras das ciências agrárias e ambientais. As palavras chaves utilizadas foram “Cattle” e “ $N_2O$ ” ou “nitrous oxide” e “urine” ou “feces” ou “dung” ou “faeces” e “emission fator”. Foram utilizados somente artigos produzidos onde o clima da observação encontrou correspondência com alguma condição climática encontrada em território brasileiro. Apenas foram utilizados artigos possíveis de extrair os FE das fezes e urinas, seus desvios e o número de repetições. Os dados auxiliares disponíveis também foram extraídos. Foram analisadas a estatística descritiva dos dados e avaliado a média em relação ao padrão do refinamento do IPCC (2019). O tamanho do efeito (TE) foi calculado em razão do  $FE_{urina}:FE_{fezes}$ . Para o TE, foi feita análise em grupo com uso de moderadores. Foi avaliado o viés do estudo. A estatística foi conduzida com auxílio dos pacotes “meta” e “metafor” do software R. Mais de 50% dos valores de FE foram menores de 0,2%. Os dados compilados nesse trabalho, considerando regiões de clima tropical e temperado úmido, conforme a classificação climática do IPCC, apresentou uma diferença menor que 5% para o FE das fezes e urina bovinas e ovinas. Nas análises de TE por moderador, apresentou diferença significativa para textura do solo, espaço poroso preenchido com água (WFPS), duração do experimento, dieta e tipo do gado. Na textura argilosa o TE (IC-95%) foi de 2,8 (1,8;4,4), diferente da arenosa com TE de 9,94 (5,8;17,2). O TE para WFPS de observações com média maior que 60% foi de 7,7 (4,4;13,5) diferente de experimentos com média de 40-60% com TE de 2,9 (2,2;4,0). Experimentos com mais de 60 dias diferiram dos demais trabalhos com menos de 60 dias. Em experimento com dietas suplementadas o TE foi de 1,7 (0,6;4,5), ou seja, o FE da urina foi igual ao das fezes. O TE foi maior para ovinos, 11,4 (6,0; 21,7) do que para bovinos, 3,6 (2,7;4,0). O trabalho apresentou viés e alta heterogeneidade, apesar disso os números seguros Rosenthal, 117.060, e Orwig, 8.976, constatarem robustez dos resultados. Este estudo apresentou médias semelhantes ao padrão internacional para o clima úmido e abordagem metanalítica corrobora com a necessidade de desagregação entre fezes e urina. Contribui com a discussão em outras variáveis além do já desagregado grupo de animais e clima do refinamento do IPCC.

**Palavras-chaves:** Pecuária. Meio ambiente. Mitigação da emissão de gases de efeito estufa.

## 2.2 ABSTRACT

Bovine excreta play a leading role in emissions of the greenhouse gas nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) from agricultural soils. The main way of projecting the dimension of its emission, considering the number of animals and the volume of excreta produced, is by the ratio of nitrogen (N) lost as g N-N<sub>2</sub>O to the total g N present in the excreta. This relationship is called the emission factor (EF). The objective of this study was to compile the EF of feces and urine of cattle and sheep in Brazil through a systematic review and to evaluate the response ratio between EF<sub>urine</sub>:EF<sub>feces</sub> through a meta-analysis. The systematic review was conducted with a search for scientific articles in the main publishers of agricultural and environmental sciences. The keywords used were “Cattle” AND (“N<sub>2</sub>O” OR “nitrous oxide”) AND “urine” OR (“feces” OR “dung” OR “faeces”) AND “emission factor”. Only articles produced where the climate of observation matched a climate found in Brazilian territory were used. Only articles capable of extracting EF from feces and urine, their deviations and the number of repetitions were used. Available auxiliary data were also extracted. The descriptive statistics of the data were analyzed and the average was evaluated in relation to the standard of refinement of the IPCC (2019). The effect size (ES) was calculated as a ratio of EF<sub>urine</sub>:EF<sub>feces</sub>. For the ES, a group analysis was performed using moderators. Study bias was assessed. The statistics were conducted with the aid of the “meta” and “metafor” packages of the R software. More than 50% of the EF values were less than 0.2%. The data compiled in this work, considering regions of tropical and wet temperate climate, according to the IPCC climate classification, showed a difference of less than 5% for the FE of bovine and sheep feces and urine. In the analysis of ES by moderator, there was a significant difference for soil texture, pore space filled with water (WFPS), duration of the experiment, type and diet of cattle. The clayey texture the ES (CI-95%) was 2.8 (1.8;4.4), different from the sandy texture with ES of 9.94 (5.8;17.2). The ES for WFPS of observations with a mean greater than 60% was 7.7 (4.4;13.5) different from experiments with a mean of 40-60% with a ES of 2.9 (2.2;4.0). Experiments with more than 60 days differed from the other studies with less than 60 days. In an experiment with supplemented diets, the ES was 1.7 (0.6;4.5), that is, the EF of urine was equal to that of feces. The ES was higher for sheep, 11.4 (6.0; 21.7) than for cattle, 3.6 (2.7; 4.0). The work showed bias and high heterogeneity, despite this, the safe numbers Rosenthal, 117,060, and Orwig, 8,976, confirm robustness of the results. This study presented averages similar to the international standard for the wet climate and a metaanalytic approach corroborates the need for disaggregation between feces and urine. These results contribute to the discussion of other variables, in addition to the already disaggregated groups of animals and climate of the IPCC refinement.

**Keywords:** Livestock. Environment. Mitigation of greenhouse gas emissions.

## 2.3 INTRODUÇÃO

Os setores com maiores contribuições para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) antrópicas no Brasil são a mudança no uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (LULUCF, 38%), a geração de energia (23,2%) e a agropecuária (28,5%). Estima-se que a agropecuária é responsável pela emissão de 478 Tg CO<sub>2</sub>eq de um total de 1.676 Tg CO<sub>2</sub>eq. Este setor é dominado pelas emissões de metano (CH<sub>4</sub>) oriundas da fermentação entérica do gado bovino, seguidas pelas emissões diretas de N<sub>2</sub>O dos dejetos dos animais em contato com o solo (MCTI, 2022). Estima-se que o N<sub>2</sub>O de dejetos dos animais seja responsável por 17% das emissões do setor agropecuário. Neste sentido, os compromissos firmados pelo Brasil na COP21 em Paris (2015) para minimizar a emissão de GEE, são focados no setor agropecuário. Os compromissos voluntários dos países em reduzir as emissões de GEE em acordos globais com adoção de políticas de mitigação na emissão desses gases, são publicados em anuários de inventários de emissão de GEE. As bases metodológicas para elaboração das estimativas encontram-se nos manuais do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2019).

O óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) é um potente gás de efeito estufa. Esse gás tem aumentado a sua concentração na atmosférica em 0,85 ppb·ano<sup>-1</sup> durante o período de 2001 a 2015 (observações terrestres do National Oceanic and Atmospheric Administration dos Estados Unidos - NOAA). O potencial de aquecimento deste gás é 298 vezes maior do que o CO<sub>2</sub> e 12 vezes maior do que o CH<sub>4</sub> (HEIL; VERECKEN; BRÜGGEMANN, 2016). Além disso, ao contrário do NO, que participa na formação do ozônio na troposfera, o N<sub>2</sub>O contribui substancialmente para a destruição do ozônio estratosférico.

O solo é a maior fonte de N<sub>2</sub>O. Em relação a solos sob uso agrícola, aplicação de adubos nitrogenados e dejetos animais elevam as emissões desses gases do solo (CIAIS et al., 2013). A unidade padrão utilizada para estimar a proporção de N perdido por meio do N<sub>2</sub>O após aplicação de uma fonte de nitrogênio como excretas ou adubo, é o fator de emissão (FE), que é uma relação entre a taxa de N-N<sub>2</sub>O emitido e o N aplicado. A emissão do N<sub>2</sub>O pode ser direta ou indireta, esta última derivada do N lixiviado e N volatilizado. As emissões do N<sub>2</sub>O são dependentes da nitrificação (oxidação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> via NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e a desnitrificação (redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>). Esse gás é produzido principalmente via desnitrificação sob condições anaeróbicas, quando o espaço poroso do solo está geralmente preenchido com mais de 60% de água (OERTEL et al., 2016). A nível celular, a nitrificação e desnitrificação é dependente de disponibilidade de N e carbono orgânico.

Uma grande quantidade de N é depositada de forma localizada no solo via fezes e urina, equivalente a taxa de aplicação de 500 a 1000 kg de N·ha<sup>-1</sup> para urina (HAYNES; WILLIAMS, 1993) e para placas fecais (manipuladas para experimentação) de 82 kg N·ha<sup>-1</sup> a 1300 kg N·ha<sup>-1</sup> (MAZZETTO et al., 2020; ZHU et al., 2020). A concentração de N nas fezes e na urina e a relação N-urina:N-fezes na via de excreção animal varia conforme a dieta (ZHU et al., 2021a). Apesar do elevado conteúdo de N das fezes, um baixo fator de emissão é associado a esta forma de excreta. O FE das fezes é cerca de 6 vezes menor do que o da urina do gado em ambiente de clima úmido (IPCC, 2019). Alguns mecanismos são atribuídos a isso, por exemplo, o N na urina está na forma orgânica solúvel (ureia principalmente), prontamente disponível para após mineralizar-se perder-se como N<sub>2</sub>O via nitrificação e desnitrificação, ao passo que nas fezes o N está na forma orgânica mais estabilizada sendo disponibilizada pela lenta mineralização, que por sua vez é dependente de umidade e temperatura (WEERDEN et al., 2021).

Um esforço tem sido feito pela academia no intuito de compilar e entender as emissões de N<sub>2</sub>O e seus FE por meio de análise de banco de dados, revisões sistemáticas e metanálises (ALBANITO et al., 2017; CAI; AKIYAMA, 2016; CAYUELA et al., 2017; CHARLES et al., 2017; CHEN et al., 2013; HERGOUALC'H et al., 2021; KELLIHER et al., 2014; LÓPEZ-

AIZPÚN et al., 2020; MAZZETTO et al., 2020; VAN DER WEERDEN et al., 2020; WEERDEN et al., 2021; ZHU et al., 2021b) o que contribui para fomentar com dados mais acurados e desagregar os FE dos inventários nacionais conforme as particularidades de cada país. Esses delineamentos de estudos, isto é, revisões sistemáticas e metanálises, reduzem tempo e gastos comparado com os experimentos de campo, e pode apresentar relações entre variáveis chaves e FE dessa forma contribuir para estimativas mais precisas de FE de regiões pouco representada com experimentação científica (LÓPEZ-AIZPÚN et al., 2020).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi (i) encontrar lacunas de conhecimento, entender a dispersão dos dados existentes, verificar a conformidade entre os FE de fezes e urina do IPCC, ajustar o particionamento dos FE para a realidade do Brasil. (ii) Por meio de uma metanálise, avaliar a razão entre o FE da urina e das fezes para entender a relação entre essas excretas.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1 Seleção e elegibilidade

Uma revisão sistemática foi conduzida utilizando como fonte de buscas as plataformas das editoras Science Direct, Wiley, Springer, Nature, Taylor & Francis. Nas buscas iniciadas nos dias 12 de julho de 2020, foram utilizadas as palavras chaves: “Cattle” e “N<sub>2</sub>O” ou “nitrous oxide” e “urine” ou (“fezes” ou “dung” ou “faeces” e “emission fator”).

As publicações passaram por uma seleção previa antes de ir para o banco de dados. Foram utilizados apenas publicações originais revisada por pares com experimentos que quantificasse N<sub>2</sub>O diretamente de fezes e urina em condições de campo. Para aumentar o número de trabalhos compilados optou-se por selecionar trabalhos também produzidos fora do território brasileiro. Como critério para remover viés climático, foram selecionados apenas experimentos realizados em zonas climáticas também encontradas no Brasil, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger. Com esses dados foi conduzido a análise de razão resposta entre urina e fezes, descrito no Item 0. Para estimar o FE de fezes e urina do Brasil em consonância com o IPCC os dados foram então classificados conforme as zonas climáticas do IPCC (2006). A tradução dos climas foi feita da seguinte maneira: equatorial para “tropical wet”, tropical úmido para “moist”, montano para “montano” e temperado quente e úmido “warm temperate moist”.

Após a leitura integral dos artigos, foram elegíveis artigos que conduziram o experimento em conformidade com as normas de experimentação e forneceram os dados necessários para a metanálise (Apêndices,

Figura 17). Os dados necessários são: a variável em análise para cálculo do tamanho do efeito ou *effect size*, neste caso o FE ou das variáveis que permitem seu cálculo, os erros do FE (desvio padrão, variância, intervalo de confiança, erro padrão da média) ou da variável que permite seu cálculo (isto é, emissão diária ou acumulada de N<sub>2</sub>O) e o número de repetições. Os artigos elegíveis passaram pela avaliação de três pesquisadores para verificação da concordância de uso dos artigos.

### 2.4.2 Critérios para extração e tratamentos dos dados

Os resultados foram extraídos dos artigos e tratados conforme os seguintes critérios:

- tratamentos em que as excretas foram tratadas com inibidores de nitrificação, como o dicianamida (DCD), foram excluídos;
- tratamentos em que as excretas fezes e urinas foram misturadas foram excluídos;
- nos artigos que não apresentaram o fator de emissão, mas apresentaram o N<sub>2</sub>O acumulado do tratamento excreta e controle, o FE foi calculado pela Equação 1:

$$FE (\%) = \frac{N - N_2O_{excreta} - N - N_2O_{controle}}{N - input\ excreta} \times 100 \quad (1)$$

- alguns artigos apresentaram apenas um erro para um grupo de tratamentos e não o erro de cada tratamento. Neste caso, foi calculada a média dos FE dos tratamentos correspondentes aos erros apresentados. As médias foram calculadas apenas quando não houve diferença significativa;

- dados sem algarismos significativos foram considerados faltantes (exemplo: 0,0), também não foram utilizados FE negativos;
- para chegar ao resultado do erro do FE faltante dos artigos que apresentaram o erro do N<sub>2</sub>O acumulado, foi calculado a variância pela Equação 2:

$$VEF = (100/N_{inputexcreta})^2 \times \frac{SD_e^2}{ne} + \frac{SD_c^2}{nc} \quad (2)$$

Onde: SDe e SDc é o desvio padrão acumulado da excreta e do controle respectivamente e o Ninput excreta é o total de N aplicado (CHARLES et al., 2017);

- dados que precisaram ser extraídos de gráficos foi utilizado o site Webplotdigitilizer 4.3 (<https://apps.automeris.io/wpd/>);

### 2.4.3 Análise estatística

A urina artificial corresponde a um número significativo de resultados (n=39). Não foi feita distinção da urina natural da urina artificial, pois não há diferença quando os tipos de urina são aplicados na mesma concentração de N (IPCC, 2019; WEERDEN et al., 2021).

Cerca de 51% das emissões de N<sub>2</sub>O podem ser causadas por pulsos esporádicos com elevada variação espaço temporal (MOLODOVSKAYA et al., 2012). Somente a variância pode não ser o suficiente para dar peso aos artigos na metanálise, e dar viés para um menor fator de emissão, uma vez que trabalhos com menor variância tem maior peso na metanálise (CHARLES et al., 2017). Em outras palavras, dois experimentos com mesmo número que repetições, mas que um tenha um esforço amostral menor (isto é, menos dias e tempos de coleta) e menor câmara pode subestimar a emissão de N<sub>2</sub>O em relação a um experimento com maior esforço amostral. Para tentar sanar este problema o n do FE foi calculado como:

$$N = n^\circ. \text{ de experimentos}_i \times n^\circ. \text{ de repetições}_i \times \text{eventos de coletas}_i \text{ (dias)} \times \text{tempos de amostragem}_i \times \text{área da câmara}_i \text{ (m}^2\text{)}$$

Para o cálculo das médias do FE e do tamanho do efeito dos fatores de emissão foi utilizado o pacote “meta” do software R. No cálculo das médias de FE por climas encontrados no Brasil, utilizamos o método estatístico para médias simples “metamean”. As covariáveis (moderadores) foram: clima (equatorial, tropical úmido, montano, e temperado quente e úmido), gado (ovino e bovino), excreta (fezes e urina). Para o cálculo da razão resposta entre urina e fezes utilizamos o método para dados contínuos “metacont”. Para o cálculo da razão resposta (FE<sub>urina</sub>:FE<sub>fezes</sub>) e verificar o tamanho do efeito (TE), no grupo experimental usamos o FE da urina e para o grupo controle o FE das fezes. Artigos que apresentaram mais de um tratamento de fezes, por exemplo, com e sem adição de água, foi utilizado o resultado em que as fezes não foram alteradas. O Q de heterogeneidade apresentou significância para todas as variáveis (p<0,01), dito isso optou-se pelo modelo de efeito aleatório. O método para cálculo do  $\tau^2$  foi o *restricted maximum-likelihood estimator* (REML).

As covariáveis que entraram na metanálise foram dados apresentados em pelo menos 70% dos experimentos, esse valor foi pressuposto adequado para criação de variáveis categóricas sem comprometer as análises. Foram as covariáveis analisadas em subgrupos: clima (tropical vs subtropical, segundo Köppen-Geiger e tropical e temperado, segundo IPCC), países (Brasil vs outros), precipitação acumulada durante o experimento (categorias de <75, 75-150, 150-300, 300-450, >450 mm), estação do ano, classe de solo (argila de alta atividade, argila de

baixa atividade de ordem latossolo, argila de baixa atividade não latossólicas e outros) (BERNOUX et al., 2002), pH do solo (categorias de <5, 5-6, >6), textura (arenoso, textura média, argiloso), drenagem (bem drenado, moderadamente drenado, mal drenado), espaço poroso preenchido com água (WFPS) (categorias de <40, 40-60, >60%), duração do experimento (<30, 31-60, >61 dias), tipo de gado (bovino e ovino) e dieta (alimentação com suplementação, animais que pastaram exclusivamente de pastagem, classificados em pasto tropical e temperado em monocultura ou consorciado). Os critérios para equivalências entre os dados apresentados nos artigos e as categorias criadas para padronizar as informações, como classe de solo, textura e drenagem encontram-se em Apêndices (

Tabela 17). Quanto a duração do experimento, optou-se por dar preferência a criação de categorias que destacasse experimentos de curta duração, uma vez que o critério para uso no refinamento do IPCC é de no mínimo 30 dias, portanto, experimentos de curto prazo. As dietas foram classificadas em suplementadas para os animais que receberam quaisquer alimentos concentrados, sejam eles energéticos ou proteicos. Informações faltantes de textura, classe de solo dos artigos selecionados na revisão sistemática foram tomados de outros artigos produzidos na mesma localização.

Além dos vieses de publicação, como os sistemas de publicação e de editoração, fonte de financiamento dos trabalhos, um número pequeno de grupos de pesquisa no tema estudado, uma metanálise pode apresentar viés de inclusão de artigos, devido a: seleção dos trabalhos, aos algoritmos adotados pelos mecanismos de busca ou escolha de palavras chaves. Supondo uma seleção incompleta de trabalhos, se o tamanho do efeito dos estudos faltantes estiver distribuído aleatoriamente, a sua ausência não influenciará no efeito médio dos tamanhos encontrados na metanálise, porém, se os trabalhos ausentes tiverem tamanhos médios distintos dos encontrados, terá viés (BORENSTEIN et al., 2009). Para entender um possível viés foi realizada análises para avaliar a confiabilidade dos tamanhos dos efeitos, sendo elas: análise gráfica do gráfico de funil; correlação e regressão entre o tamanho do efeito e o erro e os números de seguros de Rosenthal e Orwin.

No método de Rosenthal, se calcula o número de observações com média de resultados nulos que teriam que ser inclusos num conjunto de resultados observados para reduzir o nível de significância de valor combinado para um nível menor de significância (ROSENTHAL, 1979). O nível de significância alvo utilizado nesse trabalho foi de 0,05. O método Orwin calcula o número de observações com média de resultados nulos que teriam de ser adicionados ao conjunto de resultados para reduzir o resultado médio a um valor alvo próximo de zero, uma vez que quanto menor o valor alvo, melhor para compreensão dos resultados (ORWIN, 1983). Nesse trabalho utilizamos o alvo de 0,01. Os números seguros de Rosenthal e Orwin foi utilizado na função “*f<sub>sn</sub>*” do pacote “*metafor*”.

Se aplicou o teste de Hegger para avaliar a existência de viés com a função “*metabias*”. Plotou-se o gráfico de funil para aferição visual pelo método do inverso da variância, onde no eixo “x” temos o tamanho do efeito e no eixo “y” o inverso da variância. Estudos menos precisos, ou seja, com maior erro se distribuem na parte superior, ao passo que experimentos mais precisos na parte inferior numa faixa mais ampla de valores. Na ausência de viés os dados ficariam distribuídos em forma de funil.

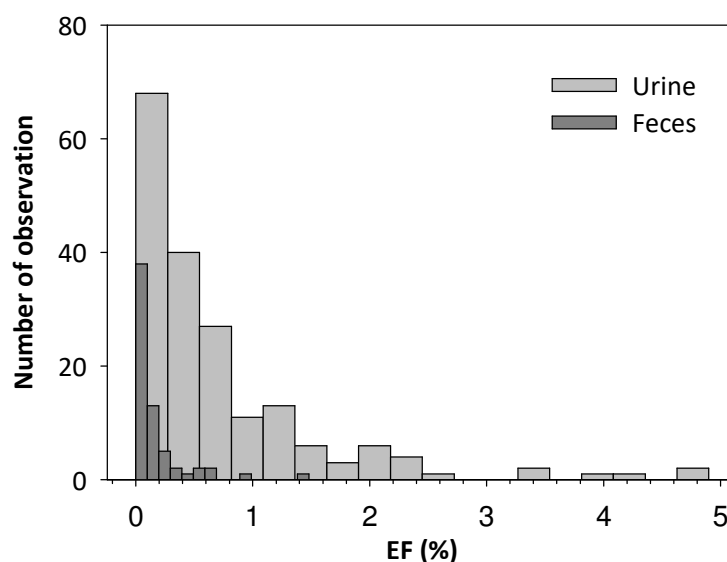


## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1 Distribuição dos dados

O banco de dados compilou os resultados de 45 artigos e 250 resultados experimentais de FE. Visualmente, a distribuição das médias do FE apresentou distribuição de Poisson, tanto para fezes quanto para urina. Cerca de 50% dos valores do FE's foram menores do que 0,2% (

Figura 1). Essa distribuição é normalmente associada a probabilidade de acontecimentos de eventos raros. Os picos de emissão de N<sub>2</sub>O ocorrem em pulsos breves e intensos, que por sua vez determinam a magnitude do FE. Desta forma, fica claro que FE's muito altos ocorrem em condições de excreta e ambiente muito específicos. Condições ambientais ótimas para emissão de N<sub>2</sub>O são: umidade em 60% WPS, temperatura do solo até 37°C, relação C:N 11:1, solos com pH próximo da neutralidade (OERTEL et al., 2016).



**Figura 1.** Histograma da distribuição dos FE das fezes e urina.

### 2.5.2 FE por clima encontrado no Brasil

Para tentar estimar o FE do Brasil selecionamos os dados dentro das zonas climáticas encontradas no Brasil, conforme a classificação indicada no IPCC. O Brasil contou com 28% dos dados e o restante da América do Sul e Central com 34% dos dados, em um total de 172 resultados. Em média o Brasil apresentou o FE médio para urina e fezes de (média±erro padrão)  $0,61\pm 0,18$  e  $0,15\pm 0,045$ , respectivamente, ao passo que o restante do mundo apresentou  $0,63\pm 0,08$  e  $0,17\pm 0,034$ , para urina e fezes respectivamente. Regiões de maior latitude como Europa, Nova Zelândia e Japão, os FE's foram,  $0,73\pm 0,098$  e  $0,14\pm 0,086$ , para urina e fezes, respectivamente. Regiões mais próximas da linha do Equador como parte da América do Sul, Central e África apresentaram médias de  $0,48\pm 0,12$  e  $0,11\pm 0,021$ , para urina e fezes respectivamente. Associamos essa discrepância entre as médias devido as dietas diferenciadas dos animais nessas distintas regiões, onde países de clima subtropical apresentam uma dieta mais rica em N, aumentando a excreção de N via urina, e melhorando a qualidade do N nas fezes. Nos experimentos em clima subtropical (clima segundo Köppen-Geiger, toda base de dados) se aplicou  $70,41 (\pm 9,48)$  e  $46,75 (\pm 5,15)$  g N m<sup>-2</sup>, nos tratamentos urina e fezes,

respectivamente. Ao passo que, em clima tropical foi aplicado para urina e fezes, o equivalente a 50,82 ( $\pm 8,69$ ) e 61,07 ( $\pm 14,33$ ) g N m<sup>-2</sup>, respectivamente. O IPCC assume que a razão do N excretado entre urina e fezes é de 0,66:0,34, porém para sistemas produtivos onde as dietas podem estar a baixo do fornecimento de nutrientes requerido, principalmente regiões com dietas baseados a pasto em períodos secos bem delimitados, pode haver uma razão de urina e fezes menor, variando entre 0,31:0,69 a 0,49:0,51 (ZHU et al., 2021b). Esse padrão na taxa de aplicação de N por área refletiu nas concentrações de nitrato e amônia em cada clima, principais substratos para emissão de N<sub>2</sub>O (Apêndices,

Figura 18).

Os dados de FE assim como no refinamento do IPCC (2019) são apresentados na Tabela 1. Os dados foram separados por tipo de excretas, por tipo de clima, e tipo de gado. Para média de diferentes médias experimentais, como em revisões sistemáticas, é preconizado ponderar os dados conforme a variância da média e número da população amostrada. Para esses casos, comumente é utilizado o método do inverso da variância.

**Tabela 1.** Valores de FE (%) médios de fezes e urina de bovino e ovinos para climas encontrados no Brasil conforme a classificação por zonas climáticas do IPCC (2006). Intervalo de confiança (IC) derivada da análise do método do inverso da variância.

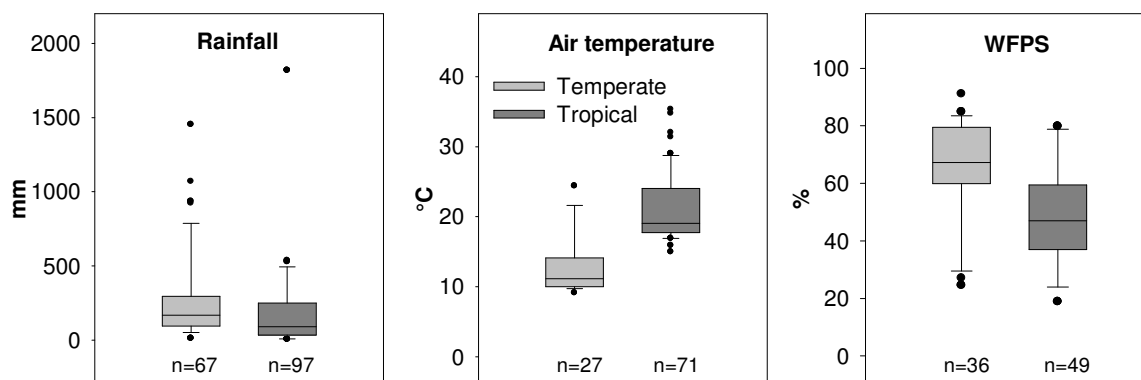
Excreta	Gado	nº de observações	Média	Mediana	Média inverso da variância	95%-IC
			FE (%)			
<b>Equatorial</b>						
urina	bovino	3	0,5948	0,0147	0,4740	-0,5305; 1,4785
<b>Tropical úmido</b>						
urina	bovino	20	0,8942	0,3850	0,8874	0,3397; 1,4352
fezes	bovino	13	0,1395	0,1500	0,1632	0,0792; 0,2472
urina	ovino	14	0,2264	0,2450	0,2178	0,1645; 0,2710
<b>Tropical montano</b>						
urina	bovino	14	0,3366	0,1408	0,2679	0,0727; 0,4632
fezes	bovino	24	0,0623	0,0250	0,0544	0,0263; 0,0825
<b>Temperado quente e úmido</b>						
urina	bovino	49	0,8366	0,6500	0,8107	0,6117; 1,0098
fezes	bovino	13	0,2677	0,0860	0,2539	0,0932; 0,4145
urina	ovino	19	0,6718	0,1800	0,6076	0,2245; 0,9907
<b>Tropical e temperado</b>						
urina	bovino	86	0,6655	0,5140	0,7378	0,5575; 0,9182
fezes	bovino	50	0,1565	0,0600	0,1317	0,0815; 0,1819
urina	ovino	33	0,4491	0,2400	0,4031	0,2116; 0,5946
fezes	ovino	3	0,0600	0,0500	0,0396	0,0004; 0,0789
<b>IPCC úmido*</b>						
urina	bovino	279	-	-	0,77	0,03; 0,38
fezes	bovino	107	-	-	0,13	0; 0,5
urina	ovino	35	-	-	0,39	0,04; 1,8
fezes	ovino	21	-	-	0,04	-0,19; 0,27

\*Dados retirados do IPCC (2019), método linear para cálculo da média.

Cerca de 50% dos resultados foram produzidos em clima temperado quente e úmido. No Brasil esse clima ocorre majoritariamente na região sul. Não foi encontrado nenhum FE para bovinos em regiões áridas quentes, ficando sem representação parte da região nordeste do Brasil, que apresenta forte tradição pecuária. Também não há nenhum fator de emissão para caprinos. A região norte onde corresponde a classe equatorial, também está sub-representada. Os resultados dessa revisão, apesar do menor volume de resultados do que o do refinamento, encontrou valores muito similares para a regiões de clima úmido (não foi encontrado nenhum valor para o clima tropical seco (Apêndices,

Figura 16). Portanto, para desagregação em demais climas no Brasil ainda não há dados suficientes, sendo, portanto, recomendado a generalização em regiões úmidas. Recomenda-se a necessidade de produção de mais dados em regiões de clima tropical seca, montano e equatorial. Quando analisados em conjunto, os dados de área tropical e temperado, tanto para fezes quanto urina, apresentaram uma diferença de menos de 5% em comparação com o IPCC para clima úmido.

A temperatura média do ar durante os experimentos no clima tropical foi maior do que nos de clima temperado, 21,1°C e 13,4°C respectivamente. A precipitação entre os climas foi semelhante, consequentemente, o clima tropical com maior potencial de evapotranspiração manteve menor concentração de água no solo durante os experimentos (Figura 2).



**Figura 2.** Variáveis climáticas durante a condução dos experimentos, dados agrupados por clima tropical e temperado.

### 2.5.3 Metanálise

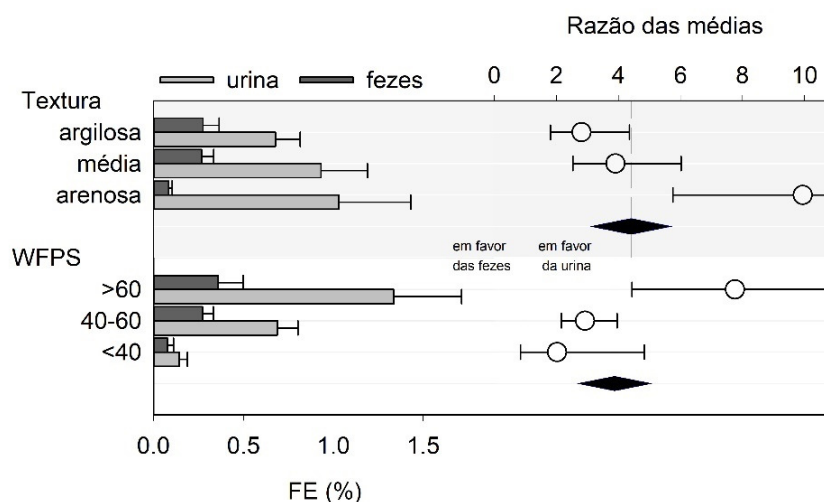
Os experimentos utilizados nesta metanálise aplicaram 63,82 ( $\pm 6,75$ ) g N m<sup>-2</sup> e 49,28 ( $\pm 5,08$ ) g N m<sup>-2</sup> através de urina e fezes, respectivamente. Apesar disso o FE das fezes foi 4,26 (3,18; 5,71) (média pelo inverso da variância  $\pm$  intervalo de confiança a 95%) vezes menor que a urina. Este resultado está em estreita concordância com a desagregação entre fezes e urina do IPCC (2019).

Ao analisarmos os dados em subgrupos de covariáveis, não houve diferença para clima (Köppen-Geiger ou IPCC), país, precipitação, estação, dieta, classe de solo, drenagem e pH. Houve diferença para textura, WFPS, duração dos experimentos e tipo de gado.

#### a) Solo

O fator textura apresentou diferença significativa entre solos arenosos e argilosos (p=0,0016). A razão média de FE de urina e fezes dos valores foram de 9,94 (5,8;17,2), 3.90

(2.5;6.0), 2.8 (1.8; 4.4) para solos arenosos, textura média e argilosos. Nota-se um decaimento das razões médias à medida que o solo é mais argiloso (Figura 3).



**Figura 3.** Os resultados à direita o *forest plot* em subgrupo expressa a razão média entre os FE da urina e fezes e o seu intervalo de confiança a 95%, para textura e WFPS. Gráficos de barras a esquerda com valores de médias simples dos FE da urina e fezes em seus respectivos subgrupos. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Um experimento conduzido com excreta de mesma origem e em diferentes localidades onde havia diferença sutis de textura, corroboram com a diferença entre FE de urina e fezes. O estudo foi conduzido em uma propriedade rural com classe textural classificada como franco argilo arenoso (60% areia e 21,4% argila) e outra com solo franco arenoso (66,3% de areia e 18,7% de argila) teve diferenças significativas sobre o tamanho do efeito 0,37(0,27;0,51) e 5,85(3,17;10,82) (TULLY et al., 2017). A composição mineral do solo influencia em suas características físicas, principalmente porosidade e agregação. Os colóides do solo, isto é, argilas e matéria orgânica (MO), são os principais componentes para estruturação do solo. Os interstícios entre argilas e MO no interior dos agregados, também chamado de microporos, apresentam alta capacidade de retenção de água. Essa retenção de água promove maior desnitrificação, decorrente da sua condição de baixa aeração durante períodos úmidos (WEITZ et al., 2001). O baixo potencial redox nas texturas finas proporciona baixa pressão parcial de oxigênio devido a grande resistência a difusão deste gás. A baixa difusão de O<sub>2</sub> associada a entrada de carbono de alta qualidade das fezes pode potencializar a emissão de N<sub>2</sub>O do solo, uma vez que o aumento da respiração do solo demanda mais O<sub>2</sub> (ROCHETTE et al., 2008).

A urina infiltra rapidamente no solo ao passo que as fezes permanecem na superfície, desta forma a urina teria maior interação com as propriedades subjacentes à superfície do solo do que as fezes (VAN DER WEERDEN et al., 2020). Nossa hipótese é que a urina infiltra nos solos mais arenosos alcançando camadas mais profundas em relação as fezes, podendo nessas camadas encontrar condições propícias para desnitrificação. Em profundidade é menor o potencial de evaporação, mantendo-se, portanto, em anaerobiose por mais tempo. Outro fator que beneficiaria a maior emissão da urina em profundidade é o gradiente textural com acúmulo de argila ou solos com camadas de impedimento onde se acumule umidade, proporcionando camadas anóxicas no perfil do solo. Solos mais argilosos em superfície favoreceriam as fezes em relação a urina uma vez que as fezes têm maior conteúdo de resíduos ricos em C orgânico, logo, menos conteúdo lixiviável. Neste sentido, solos argilosos em comparação com solo de textura siltosa obtiveram maior emissão de N<sub>2</sub>O quando aplicado esterco líquido do que quando

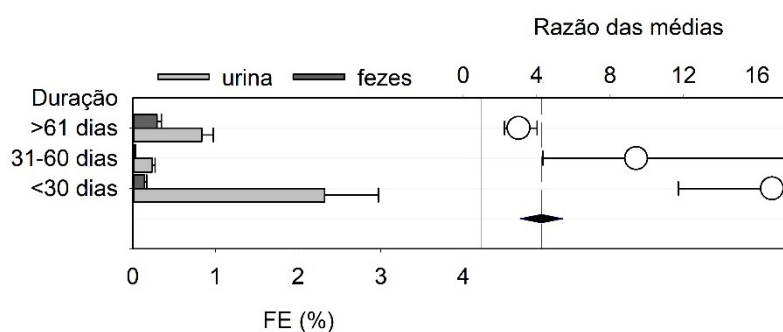
aplicado esterco na forma sólida (ROCHETTE et al., 2008). As propriedades edáficas modularam o FE de diferentes fontes de N em solos agrícolas: em solos de textura fina dobrou o fator de emissão em relação a solos de textura grossa (HERGOUALC'H et al., 2021). Infelizmente, poucos trabalhos trazem informações a respeito dos horizontes do perfil do solo. Sugerimos aos futuros estudos que descrevam a existência de gradiente textural, camadas de impedimento e densidade.

Quanto à drenagem, não houve diferença significativa, porém solos mal drenados tendem a favorecer a emissão de  $N_2O$  derivado das fezes em detrimento a urina em comparação a solos bem e moderadamente drenados, 3,14 (1,90; 5,18), 4,62 (3,09; 6,91) e 7,42 (3,89;14,14), respectivamente. Solos classificados como mal drenados, são solos que permanecem úmidos por grande parte do tempo, o que contribui para manter as fezes também úmidas, uma vez que após ressecadas elas assumem caráter hidrofóbico em sua superfície dificultando inicialmente a decomposição (KELLIHER et al., 2014). Já quando, o perfil do solo permanece mais úmido e em condições de baixa concentração de oxigênio, é possível a produção de  $N_2O$ , porém insuficiente para completar a desnitrificação (PÄRN et al., 2018), devido à baixa taxa de mineralização do N orgânico. A prolongada condição de baixa concentração de oxigênio inibe a emissão do  $N_2O$  derivado da urina. A redução no conteúdo de água no solo inibe a emissão das fezes e da urina (Figura 3). Porém o WFPS (%) apresentou diferenças entre o tamanho dos efeitos entre as categorias. As razões médias de FE de urina e fezes foram 7,7 (4,4; 13,5), 2,9 (2,2; 4,0), 2,0 (0,8; 4,8) para solos com >60, 40-60 e <40% WFPS, respectivamente. Solos com mais de >60% de WFPS foram diferentes de solos entre 40-60% ( $p=0,0048$ ). Solos com <40% não diferiram de solos com >60%, devido à alta variação dos dados. Porém as reduções nas razões médias acompanharam a redução da água no solo, ao passo que solos com <40% não há diferença entre os fatores de emissão entre fezes e urina, uma vez que o intervalo de confiança dessa faixa transpassa a razão de valor um.

A desnitrificação, principal processo de produção de  $N_2O$  no solo ocorre principalmente quando o WFPS está acima de 60% WFPS, ao passo que entre 40-60% o processo de nitrificação é preponderante (CARDOSO et al., 2019). Em um experimento com ovinos montado sob mesmas condições, porém em anos diferentes (DE BASTOS et al., 2020), apresentou em 2009 (>60% WFPS) média de tamanho do efeito de 26,3 (22,4;30,1) e em 2010 (40-60% WFPS) 5,3 (3,5;7), onde todas as observações de 2009 foram diferentes de 2010. Há também outros estudos, desta vez sem diferença estatística entre seus tratamentos, que apresentaram no período chuvoso (60-40% WFPS) e seco do ano (<40% WFPS) (BRETAS et al., 2020; CARDOSO et al., 2019), com tamanho do efeito de 6,5 (4,1;10,23) para o período chuvoso e 2,5 (1,1;5,4) e 2,0 (0,6;6,8) para o período seco no primeiro estudo e 4,6 (2,2;9,3) no período chuvoso e 1,4 (0,6;3,3) no período seco para o segundo estudo.

## **b) Duração do experimento**

Experimentos com menos de 60 dias diferiram significativamente de experimentos com mais de dois meses ( $p < 0,0001$ ; Figura 4). Para experimentos de curto prazo (até 60 dias), conforme aumenta o número de dias de avaliação o FE das fezes gradativamente aumenta em relação a urina. Nota-se um distanciamento do tamanho de efeito dos experimentos de menos de 60 dias para o efeito geral.



**Figura 4.** Resultados representados à direita o *forest plot* em subgrupo expressa a razão média entre os FE da urina e fezes e o seu intervalo de confiança a 95%, para duração do experimento. Gráficos de barras a esquerda com valores de médias simples dos FE da urina e fezes em seus respectivos subgrupos. Barras verticais representam o erro padrão da média.

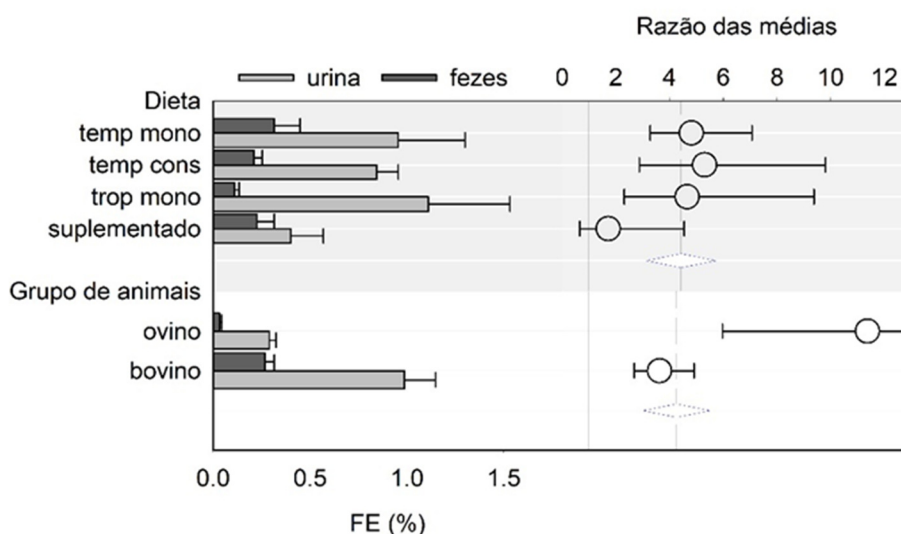
A recomendação é de que os experimentos podem terminar quando os valores retornem à emissão basal. O tempo necessário para esse objetivo pode variar conforme as condições edafoclimáticas (KLEIN et al., 2003). Alguns experimentos chegaram até a emissão basal no intervalo de 30 dias após a aplicação (CARDOSO et al., 2016a; MORI; HOJITO, 2015; PELSTER et al., 2016). Porém, o IPCC utiliza apenas dados de experimentos que realizaram coletas de N<sub>2</sub>O por mais de 30 dias. Nos demais experimentos que avaliaram por mais de 30 dias a emissão de N<sub>2</sub>O, foi observado mais de um pico após o retorno da emissão basal, ou a prolongação de um único pico com redução leniente da emissão de N<sub>2</sub>O após esse período. Neste caso, experimentos com menos de 60 dias podem desfavorecer a real quantificação das fezes em relação a urina, subestimando o FE das fezes. O nitrogênio presente nas fezes é menos lábil do que o da urina, o que pode conferir um descompasso entre a disponibilização de substrato (isto é, nitrato e amônia) para as emissões de N<sub>2</sub>O (SCHIRMAN et al., 2020).

### c) Dieta e tipo de gado

Foram separadas as dietas em suplementadas e a pasto. Não houve diferença entre os tratamentos. Porém, dentro da dieta suplementada não houve diferença entre os FE urina vs fezes, com o tamanho do efeito de 1,7 (0,6;4,5). O fato de não haver diferença entre fezes e urina em dietas suplementadas pode ser devido à redução na concentração de fibra da dieta, que por sua vez reduz o tempo da passagem do bolo alimentar pelo trato digestivo. Em decorrência disso, leva a redução da quantidade de proteína digerida no rúmen. Assim, a melhora na qualidade da dieta aumenta o conteúdo de água, diminui a relação C:N e aumenta a concentração de N das fezes (ZHU et al., 2018). Os mesmos autores encontraram para os FE das fezes (sem diferença estatística), progressivo aumento no fator de emissão com a melhora da dieta no período úmido do ano. Os fatores de emissão foram -0,0028 ( $\pm 0,0083$ ), 0,0037 ( $\pm 0,0086$ ), 0,0068 ( $\pm 0,0045$ ), 0,0090 ( $\pm 0,0158$ ), para as dietas que forneciam 40%, 60%, 100%, 130-140% de energia de manutenção, respectivamente. Para efeito de comparação, as médias de concentração de nitrogênio nas excretas para as dietas não suplementada foram 5,5 ( $\pm 1,61$ ) g·L<sup>-1</sup> e 7,27 ( $\pm 0,76$ ) g·kg<sup>-1</sup> para urina e fezes, respectivamente, ao passo que para as dietas suplementadas foram 9,19 ( $\pm 0,29$ ) g·L<sup>-1</sup> e 9,84 ( $\pm 4,40$ ) g·kg<sup>-1</sup>. O IPCC utiliza a razão de 0,66:0,34 de excreção de N:urina:Nfezes, esse padrão de excreção é visto em uma dieta de 3,3% de N, valor que pode não ser adequando para sistemas de baixa entrada de N, portanto é

recomendado uma separação dos FE baseado nos concentrações de N na dieta (WEERDEN et al., 2021). Observou-se pouca descrição da dieta dos animais nos trabalhos analisados, sugere-se então melhor descrição da dieta e das excretas para trabalhos futuros.

Houve diferença significativa entre o tipo de gado, isto é, bovinos ou ovinos ( $p=0,0017$ ). O tamanho do efeito foi de 3,6 (2,7;4,0) a 11,4 (6,0;21,7) para bovinos e ovinos, respectivamente (Figura 5). Acredita-se que essa diferença seja diretamente relacionada ao conteúdo de N das excretas. Os bovinos e ovinos apresentaram maior conteúdo de N na urina em relação às fezes, cerca de 1,3 e 2,5 vezes, respectivamente. Alternativamente, ovinos apresentam fisiologia diferente aos bovinos, pois são mais eficientes no uso da água, portanto suas fezes são mais secas.



**Figura 5.** Resultados representados à direita o *forest plot* em subgrupo da expressão a razão média entre os FE da urina e fezes e o seu intervalo de confiança a 95%, para dieta e grupo de animais. Gráficos de barras a esquerda com valores de médias simples dos FE da urina e fezes em seus respectivos subgrupos. Barras verticais representam o erro padrão da média.

#### d) Viés

O efeito geral médio da metanálise apresentou robustez conforme o número seguro de Rosenthal e Orwin, 117.060 e 8.976, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Se o número seguro do teste for grande em relação ao número de observações, existe uma segurança sobre as conclusões (ROSENBERG, 2005). No caso de Rosenthal, o número seguro superior a  $5n+10$ , isto é 305, considerando  $n$  o número de observações nas análises, sugere um resultado robusto (BARBOSA et al., 2022).

Apesar dos dados apresentarem robustez, a metanálise apresentou viés de publicação segundo o teste de correlação de Hegger. Nesse teste, o valor para o intercepto foi de 8,469 ( $\tau = 3,4$ ,  $p = 0,0012$ ) o que significa que o valor foi significativamente maior que zero, denotando assimetria na distribuição dos erros. É possível notar a distribuição heterogênea dos erros dos dados conforme o gráfico de funil do tipo inverso da variância (

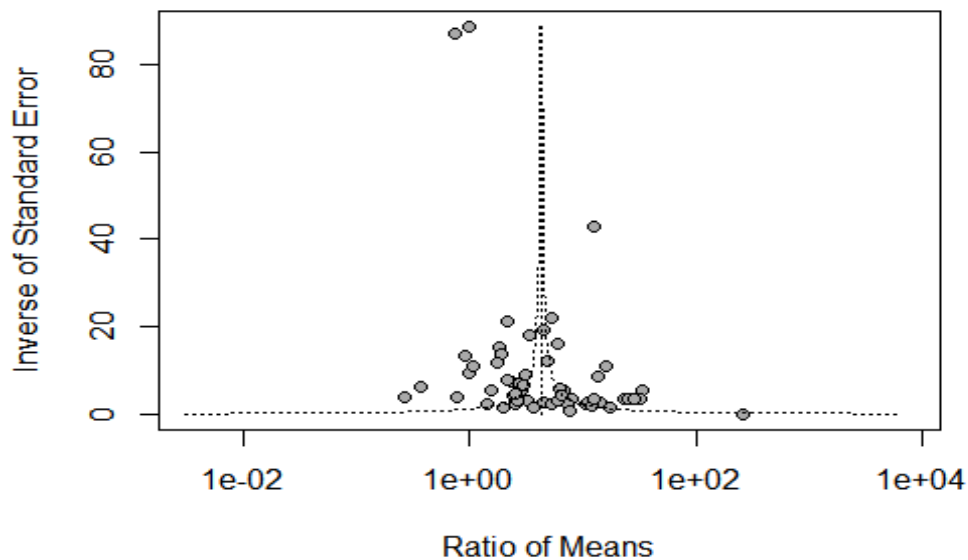
Figura 6). O modelo principal também apresentou elevada heterogeneidade dos dados ( $I^2 = 99,7\%$ ). É presumível essas discrepâncias entre a distribuição dos erros devido as variações experimentais e metodológicas apresentadas entre os artigos.

**Tabela 2.** Resultado da análise de viés de publicação com base na correlação de Kendall entre o tamanho de efeito e variância amostral, na regressão de Egger entre o tamanho de efeito e o erro padrão e nos números seguros de Rosenthal1/ e Orwin2/.

Casos	Kendall		Egger		Rosenthal*	Orwin**
	Tau	p-valor	z	p-valor	nº observações adicionadas	
59	1,1021	0	9,73	<0,0001	117.060	8.976

\* Número seguro de Rosenthal representa o número de observações com valor nulo faltantes que deve ser adicionado para se obter uma diferença não significativa numa significância de 0,05.

\*\* O número seguro de Orwin representam o número de observações faltantes com tamanho de efeito igual a zero que devem ser adicionados para reduzir o tamanho do efeito médio a 0,01.



**Figura 6.** Gráfico de funil para a inspeção visual do viés. Dados dispostos pelo inverso da variância em relação ao da razão do FE da urina sobre o FE das fezes.



## 2.6 CONCLUSÕES

A desagregação dos valores de FE em climas, no Brasil, país de clima misto, ainda não é possível devido ao desbalanço nos dados obtidos nas diferentes condições climáticas. Os resultados da tentativa de estimar médias do FE para o Brasil utilizando dados produzidos em clima tropical e temperado pelo inverso da variância foram satisfatórias e os valores foram semelhantes ao FE para clima úmido segundo IPCC (2019) na desagregação por clima entre úmido e seco. Os FE encontrados para o Brasil foram 0,73 e 0,17 para urina e fezes de bovinos, respectivamente e 0,4 e 0,039 para urina e fezes de ovinos, respectivamente.

O tamanho do efeito geral do FE<sub>urina</sub>:FE<sub>fezes</sub> foi de 4,26, ou seja, uma emissão de N-N<sub>2</sub>O da urina mais de quatro vezes maior do que das fezes. A abordagem estatística metanalítica se mostrou sensível para encontrar respostas entre os FE da urina em relação às fezes em fatores edáficos, grupo e dieta dos animais e duração do experimento, corroborando com resultados de outros trabalhos com que utilizaram outros métodos estatísticos, como modelos lineares, para analisar os FE. A metanálise investigando o tamanho do efeito entre FE<sub>urina</sub>:FE<sub>fezes</sub>, corrobora com a necessidade de desagregação entre fezes e urina e também pode ajudar na desagregação dos FE em demais condições ambientais.

### **3. CAPÍTULO II**

#### **ESTRUTURA DO DOSSEL, PRODUÇÃO ANIMAL, CONSUMO E EXCREÇÃO DE N DE ANIMAIS EM MONOCULTURA DE BRAQUIÁRIA COM OU SEM ADUBAÇÃO OU CONSORCIADO COM LEGUMINOSA FORRAGEIRA**

### 3.1 RESUMO

Impactos ambientais diretos causados pela pecuária de corte, como, degradação da pastagem e emissão de gases de efeito estufa (GEE), estão intimamente ligados ao nitrogênio (N). Seja pela falta de reposição de N, causa da degradação dos pastos, seja pela emissão do potente GEE óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) das excretas bovinas. As estratégias de reposição de N podem ser pelo uso de leguminosas, mediadoras da fixação biológica de nitrogênio (FBN), ou pela fertilização com adubos nitrogenados. Os objetivos desse trabalho foram: avaliar a produção de forragem, o desempenho animal, o consumo e excreção de N de animais que pastejaram em pastos consorciados de capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu com a leguminosa *Macrotyloma axillare* (Consórcio) ou de capim Marandu em monocultura sem adubação (Controle) ou com adubação de 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (N-Fert), sob lotação contínua. Foi conduzido um experimento com delineamento em blocos casualizados, avaliando os tipos de pastos (Consórcio, Controle e N-Fert). Todas as avaliações foram conduzidas em duas épocas do ano, Seca e Águas. A *M. axillare* participou com 34% da massa de forragem verde com 565 kg MS·ha<sup>-1</sup>. O N derivado do ar pela leguminosa no tratamento Consórcio foi de 96% a 100%. Em relação ao Controle, o tratamento Consórcio obteve maior concentração de C e N (%) no solo e menor infestação de plantas invasoras. Esses dois fatores são ganhos de qualidade do solo no tratamento Consórcio, relativo ao processo de degradação de pastagem. O tratamento N-Fert obteve maior massa fresca total, sem, no entanto, ter maior ganho de peso dos animais. Não houve diferença em ganho de peso entre os tratamentos. Apesar do maior potencial produtivo do tratamento N-Fert a lotação fixa pode ter promovido subpastejo desse tratamento. Em comparação com o N-Fert ou Controle, o Consórcio obteve uma dieta de maior conteúdo de proteína e maior digestibilidade e uma maior ingestão de N pelos animais, sem aumentar a excreção N. O particionamento entre excreção de N-urina:N-fezes, foi abaixo do estabelecido pelo IPCC (0,66:0,34). No período das Águas, em comparação com período Seco, o pasto apresentou melhor qualidade de dieta e estrutura, que por sua vez, refletiu sobre o maior ganho médio diário de peso vivo dos animais. O uso de *M. axillare* tem potencial para ser uma ferramenta para mitigação de GEE em sistema de pastagem tropical.

**Palavras-chaves:** Tipo de pastagem. Metabolismo do N. Fixação biológica de N.

### 3.2 ABSTRACT

Direct environmental impacts caused by beef cattle, such as pasture degradation and greenhouse gas (GHG) emissions, are closely linked to the nutrient nitrogen (N). Whether due to the lack of N replacement, which leads to degradation of pastures, or due to the emission of the potent GHG, nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) from bovine excreta. N replacement strategies can be through the use of legumes, mediators of biological nitrogen fixation (BNF), or through fertilization with nitrogen fertilizers. That said, the objectives of this work were: to evaluate the forage production, animal performance, N consumption and excretion of animals that grazed in pastures intercropped with grass *Urochloa brizantha* cv. Marandu with the legumine *Macrotyloma axillare* (Mixed) or Marandu grass in monoculture without fertilization (Control) or with fertilization of 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup> (N-Fert), under continuous stocking. An experiment was carried out in a randomized block design, evaluating the types of pasture (Mixed, Control and N-Fert). All evaluations were conducted at two times of the year, Dry and Rainy. The *M. axillare* totaled 34 % of the green forage mass with 565 kg DM·ha<sup>-1</sup>. N derived from the atmosphere in the legume in the Mixed treatment ranged from 96% to 100%. Compared to the Control, the Mixed treatment had a higher concentration of C and N (%) in the soil and less weed infestation. These two factors are soil quality gains in the Mixed treatment, related to the pasture degradation process. The N-Fert treatment obtained a higher total fresh mass, without, however, having a greater weight gain in the animals. There was no difference in weight gain between treatments. Despite the greater productive potential of the N-Fert treatment, the fixed stocking may have promoted undergrazing of this treatment. In comparison with N-Fert or Control, the Mixed obtained a diet with higher protein content and greater digestibility and a higher N intake by the animals, without increasing N excretion. The partitioning between N-urine excretion: N-feces, was below the established by the IPCC (0.66:0.34). In the Rainy period, compared to the Dry period, the pasture presented better diet quality and structure, which, in turn, reflected on the higher average daily gain of live weight of the animals. The use of *M. axillare* has the potential to be a GHG mitigation tool in a tropical pasture system.

**Keywords:** Type of pasture. N metabolism. Biological N fixation.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017), existe no Brasil cerca de 172 milhões de cabeças de bovinos ocupando 159 Mha de pastagens. Dados de imagem de satélites estimam que há cerca de 100 Mha de pastagem degradadas no Brasil (LAPIG, 2022). O bioma Mata Atlântica é o mais ocupado por pastagens no Brasil, cerca de 29,5 Mha, ocupando 25,7% do bioma. Uma quantia de 63% dessa área está em algum grau de degradação. No entanto, houve uma redução de 29% nas áreas de pastagem do bioma de 1985 a 2020, principalmente devido a substituição por outras culturas ou a regeneração florestal (MAPBIOMAS, 2021).

Um das estratégias do estado brasileiro para readequação econômica e mitigação de emissão de gases de efeito estufa (GEE) é aliviar a pressão sobre áreas de floresta recuperando áreas de pastagem. Nesse sentido, entre as contribuições brasileiras nacionalmente determinada (NDC, sigla em inglês) e firmadas no acordo de Paris, está a recuperação a médio prazo de 15 Mha de pastagem degradada (FELTRAN-BARBIERI; FÉRES, 2021).

Para remediar a má condição das pastagens em algum estágio de degradação faz-se necessário a reposição de nutrientes, principalmente do nitrogênio (N). O N é o elemento mais limitante ao crescimento das forrageiras nos ambientes tropicais, juntamente com o fósforo (P) (BODDEY et al., 2004). Essa reposição de N pode vir via adubação ou por meio de pastagens consorciadas com leguminosas forrageiras, mediadoras da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Uma série de perdas de N e passivos ambientais estão envolvidos quanto a adoção do uso de adubos nitrogenados em detrimento ao uso de leguminosas. Dentre elas pode-se listar o aumento do N-mineral no solo derivado do adubo, como a ureia, que aumenta a emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ) e volatilização de amônia ( $NH_3$ ) em relação ao aumento do N-mineral do solo derivado da ciclagem de nutrientes das leguminosas (GUIMARÃES et al., 2022). A ureia é uma fonte direta de emissão de  $NH_3$  com intensidade de perda superior ao sistema que empregam leguminosas, devido à entrada concentrada de N em um curto intervalo de tempo após a sua aplicação (LEDGARD et al., 2009). Em termos de pegada de carbono, o uso de leguminosas apresentam menor emissão de GEE e gasto energético, frente ao uso de fertilizantes nitrogenados. O gasto energético para a produção de fertilizante via processo Haber-Bosch consome o equivalente a 32 MJ·kg<sup>-1</sup> N fixado, o que corresponde a 1% da oferta de energia primária global (ERISMAN et al., 2008). Grandes quantidades de  $CO_2$  são emitidas com a produção e transporte de fertilizantes nitrogenados, sendo que cerca de 3,5 a 4 kg são liberados por kg de adubo nitrogenado (LEDGARD; BOYES; BRENTROP, 2011; PHELAN et al., 2015).

Portanto, a FBN através de leguminosas forrageiras é considerada como a que oferece as melhores perspectivas. Em pastagens consorciadas de gramínea com leguminosas forrageiras tropicais, a FBN contribui anualmente com cerca de 42 a 155 kg de N·ha<sup>-1</sup> disponibilizado via liteira (CANTARUTTI et al., 2002; HOMEM et al., 2021<sup>a</sup>). O efeito da ciclagem de N e sua transferência para a gramínea, além da melhora na dieta dos animais, pode ser observado no aumento consistente da produtividade do sistema, refletindo sobre o desempenho individual e ganho por área em comparação com sistemas adubados (PEREIRA et al., 2020).

Leguminosas estoloníferas como *Arachis pintoii* (amendoim forrageiro) e *Desmodium ovalifolium* são capazes de persistir em pastagens de braquiária se o manejo adequado for adotado. A chave para manter essas leguminosas no pasto é garantir que haja penetração suficiente de luz através do dossel, de modo que os caules das leguminosas possam permanecer próximos à superfície do solo. Assim, novas plântulas emergentes dos caules possam produzir raízes, penetrar no solo e, portanto, produzir novo crescimento contínuo. Gomes et al. (2018) e Pereira et al. (2017) constataram que, se a penetração de 95% da radiação incidente for interceptada pelo dossel do pasto, os estolões de *Arachis pintoii* eram capazes de criar raízes e

uma alta proporção de leguminosas era mantida no pasto. Manejo semelhante para consórcio de *Desmodium ovalifolium* com braquiária promoveu a persistência desta leguminosa na pastagem e ganhos de peso de bovinos igual a aplicação de 150 kg N fertilizante·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (DOS SANTOS et al. 2022).

Leguminosas herbáceas produzem um bom volume de sementes na parte aérea e proporcionam colheita mais simples e menos onerosa do que leguminosas estoloníferas. Dessa forma, sementes de leguminosas herbáceas tendem a ser mais facilmente encontradas no mercado. Apesar da baixa persistência de leguminosas volúveis e herbáceas no consórcio com gramíneas, como a *Macrotyloma axillare*, são leguminosas que apresentam resultados a curto prazo e tem efeito residual, devido a biomassa de liteira depositada após a morte das plantas o que aumenta o teor de N no solo (BODDEY et al., 2020).

A leguminosa forrageira *M. axillare* cv. Java é adequada para solos de baixa fertilidade natural (GIMENES et al., 2017), podendo ser uma boa opção para sistemas de pouca intensificação no manejo de fertilização e reposição de nutrientes. A *M. axillare* cv Java, favoreceu o acúmulo de N na parte aérea de *Megathyrsus maximus* cv Mombaça em ausência de adubação fosfatada (FRANCISQUINI JUNIOR et al., 2020). Além disso, a técnica de inoculação da *M. axillare* com *Bradyrhizobium* se mostrou promissora para o aumento da eficiência da FBN (AMARAL et al., 2022).

Quando há entrada de N na pastagem, seja por adubação ou consórcio com leguminosas, é esperado aumento no teor de proteína da pastagem e conseqüente o consumo de proteína pelos animais (DETMANN et al., 2014). Espera-se também um aumento de N excretado via urina maior em dietas com mais N (SCHOLEFIELD et al., 1991). O uso de leguminosas pode melhorar a sinergia de proteína:energia no rúmen, aumentando a eficiência do uso de N pelos animais, e conseqüentemente, reduzindo a proporção do N consumido que é excretado para o ambiente (HOMEM et al., 2021b).

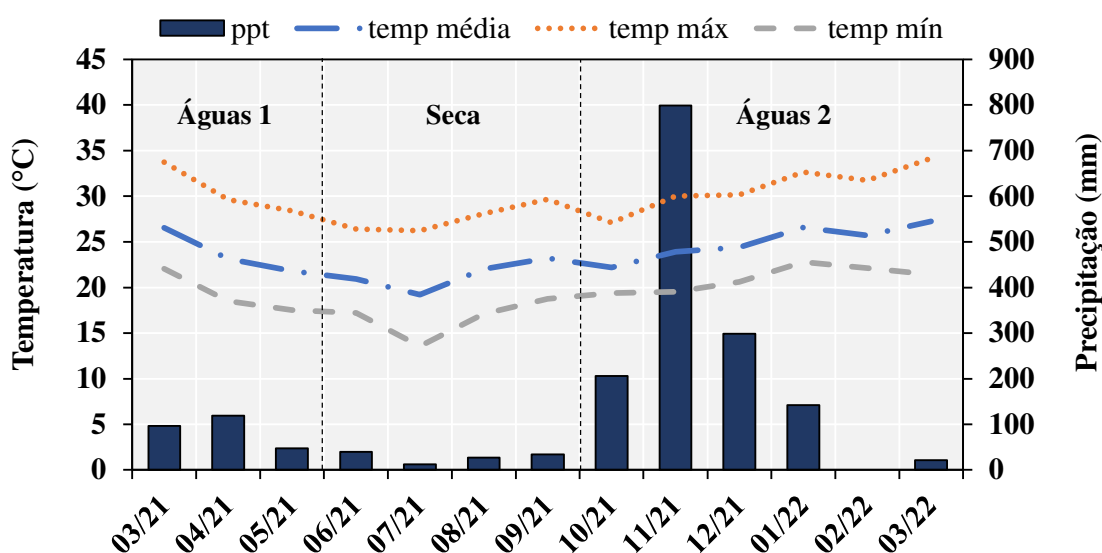
Diante disso, os objetivos desse trabalho foram: avaliar forragem e estrutura do dossel, o desempenho animal, o consumo e excreção de N de animais que pastejaram em pastos consorciados de *Urochloa brizantha* cultivar Marandu com *Macrotyloma axillare* ou de Marandu em monocultura sem ou com adubação de 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> no período da seca e das águas sob lotação contínua.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Nutrição Animal e Pastagens do Instituto de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (DNAP-IZ-UFRRJ), no município de Seropédica - RJ (22°47'04"S 43°41'10"W) com altitude de 33 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, com o período chuvoso entre novembro e março, com precipitação média anual de 1.213 mm e temperatura média anual de 24,5°C. Durante o período das avaliações no experimento, dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica automática Ecologia do INMET (

Figura 7).



**Figura 7.** Dados climáticos mensais da estação meteorológica automática Ecologia-RJ do INMET, durante os experimentos para avaliação da estrutura do dossel e produção animal divididos por época do ano, Águas e Seca.

O estabelecimento dos pastos ocorreu no início de 2015, com aração e gradagem e aplicação de 1,5 Mg de calcário. O plantio foi feito por sementes (10 kg·ha<sup>-1</sup> de braquiária nos piquetes da gramínea em monocultura e 10 kg·ha<sup>-1</sup> de braquiária e 5 kg·ha<sup>-1</sup> de *Macrotyloma axillare* nos piquetes consorciados), juntamente com aplicação de 150 kg·ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico. Foi utilizado plantadora do tipo PHS3 (Tatu Marchesan, Matão, SP). A manutenção para persistência da leguminosa *M. axillare* nos pastos consorciado foi feita com aplicação de semente no sal para ingestão e propagação por endozoocoria pelos animais. Eventualmente, em piquetes com baixa proporção de leguminosa no dossel, foi realizado semeadura a lanço de 3 kg·ha<sup>-1</sup> de sementes de *M. axillare* nos períodos chuvosos.

#### 3.4.2 Experimento para avaliação da estrutura do dossel, produção animal, consumo e excreção de N de animais sob pasto de capim Marandu em monoculturas com ou sem fertilização nitrogenada ou consorciado com leguminosa forrageira

A área experimental foi composta por 12 piquetes de aproximadamente 1 ha cada, com três tratamentos distribuídos em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram: pasto consorciados de *Urochloa brizantha* (Hochst. [ex A. Rich.], R. D. Webster) cv. Marandu e *Macrotyloma axillare* (E. Mey. Verdc) cv. Java; monocultura de *U. brizantha* sem adubação nitrogenada e monocultura fertilizada com 138 kg de N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (

Figura 8). Os tratamentos foram denominados Consórcio, Controle e N-Fert, respectivamente. O manejo adotado é em lotação contínua com duas cabeças por ha e taxa de lotação fixa.



**Figura 8.** Croqui da área experimental. Cada polígono representa um piquete ou parcela. Separação dos piquetes dos tratamentos, consórcios de braquiária Marandu e *M. axillare* (Consórcio), monocultura de Marandu adubado com 138 kg N·ha<sup>-1</sup> (N-Fert) e marandu em monocultura sem adubação (Controle) e área para os experimentos de emissão de gases de efeito estufa e balanço de N da urina.

A classificação do solo é Argissolo com transição para Planossolo (SANTOS et al., 2018a). A classe textural do solo é a franco argilo-arenosa. O Al e H+Al foi determinado por titulação, Ca e Mg por absorção atômica, K por colorimetria de chama, P pelo método colorimétrico e pH por potenciômetro (Tabela 2). O método de análise de  $\delta^{15}\text{N}$  está descrito no Item 04.

**Tabela 2.** Caracterização química do solo do experimento no ano de 2019.

Profundidade	Al	Ca	H+Al	Mg	K	P	N	C	$\delta^{15}\text{N}$	pH
	cmol·dm <sup>-3</sup>				mg·L <sup>-1</sup>		%	%	%	
0-20	0,02	1,49	2,32	0,64	33,70	7,00	0,06	0,67	7,9	5,69
20-40	0,29	0,76	2,59	0,27	14,26	3,74	0,04	0,41	-	5,20

Análises foram conduzidas seguindo as técnicas padrão da Embrapa (CLAESSEN et al., 1997).

Foram utilizados dois novilhos machos azebuados de mesmo lote, por piquete, com peso médio inicial de (média ± erro padrão da média) 355 ± 7,9 kg. Os animais tiveram acesso *ad libitum* a água, sal mineral (época das águas) e sal proteinado (época da seca). O histórico de uso e manejo da área experimental é descrito na



Tabela 3. De março de 2021 a março de 2022, o ano foi dividido em três períodos climáticos: de março de 2021 até junho de 2021 denominado como Águas 1, a partir de junho até outubro de 2021, denominado como Seca, a partir de outubro até abril de 2022 denominado como Águas 2.

**Tabela 3.** Histórico de uso e manejo animal e do pasto.

<b>Data</b>	<b>Manejo</b>
mai-20	Entrada do lote de animais e adaptação da área experimental ao sistema de lotação contínua com três animais por ha; primeira dose de ureia (100 kg nas parcelas N-fert, ureia com 46% de N)
set-20	Aplicação de 1 Mg·ha <sup>-1</sup> de calcário
nov-20	Aplicação de 200 kg de supersimples (17% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) e 100 kg de cloreto de potássio (60% K <sub>2</sub> O); segunda aplicação de ureia.
mar-21	Início das avaliações experimentais; redução na lotação para dois animais por ha
abr-21	Terceira aplicação de ureia (46 kg N·ha <sup>-1</sup> )
mai-21	Capina manual de parcelas infestadas por plantas invasoras
nov-21	Quarta aplicação de ureia (46 kg N·ha <sup>-1</sup> )
mar-22	Quinta aplicação de ureia. (46 kg N·ha <sup>-1</sup> )
Abr-22	Abate dos animais

### 3.4.3 Massa de forragem

Foi coletada mensalmente (a cada 30 dias) a massa da pastagem. Entende-se, aqui como massa, todo material vegetal acima de 10 cm do solo. Com um quadrado de 1 m<sup>2</sup> (1x1), foram retiradas seis amostras simples de cada unidade experimental por coleta. Após a coleta das plantas, as amostras foram separadas em material verde (*M. axillare* e capim Marandu, para o consórcio), plantas invasoras e material morto. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas e então pesadas para determinar a massa seca (MS). A massa de braquiária foi considerada folha + colmo e de *M. axillare* folhas + caule. A razão de matéria verde: material morto foi calculada pela razão da massa seca de folhas + colmo e ou caule sobre a massa seca de material morto.

### 3.4.4 Nitrogênio derivado da atmosfera

O N derivado do ar foi estimado utilizando a técnica de abundância natural de <sup>15</sup>N. Essa técnica é baseada na observação que o N disponível para as plantas na maioria dos solos está levemente enriquecido com <sup>15</sup>N em relação a atmosfera (SHEARER; KOHL, 1986). Dessa forma, uma planta fixadora de N<sub>2</sub> terá uma abundância de <sup>15</sup>N menor do que uma planta não fixadora, que por sua vez para seu crescimento é totalmente dependente do N do solo. As amostras de plantas referências foram coletadas mensalmente ao longo do ano dentro do piquete do tratamento Consórcio, mas fora da influência da leguminosa. O material da leguminosa foi aproveitado das coletas mensais de massa de forragem. As amostras foram secas a 65°C por 72 horas e moídas em moinho de facas e posteriormente no moinho de rolos até a granulometria de pó fino (ARNOLD; SCHEPERS, 2004). Alíquotas contendo entre 200 e 400 µg C foram analisadas utilizando-se um espectrômetro de massa de razão isotópico de fluxo contínuo automatizado (Finnigan MAT, Bremen, Alemanha) acoplado à saída de um autoanalisador

Costech [modelo ECS4010] de C e N no laboratório "John Day Stable Isotope Laboratory" da Embrapa Agrobiologia. Para o cálculo do nitrogênio derivado da atmosfera (Ndfa) foi utilizado a seguinte fórmula (SHEARER; KOHL, 1986):

$$\%Ndfa = 100 \times \left( \frac{\delta^{15}N_{refer\acute{e}ncia} - \delta^{15}N_{leguminosa}}{\delta^{15}N_{refer\acute{e}ncia} - B} \right)$$

Onde  $\delta^{15}N$  referência é o  $\delta^{15}N$  derivado do solo obtido das plantas não fixadoras que cresceram nas parcelas fora da influência das plantas fixadoras de  $N_2$  atmosférico. O  $\delta^{15}N$  leguminosa é valor de  $\delta^{15}N$  da parte aérea da planta fixadora do  $N_2$  atmosférico, neste caso a *M. axillare*, e *B* é o fator de ajuste considerando o fracionamento isotópico de  $^{15}N$  que ocorre no transporte de N das raízes para a parte aérea das plantas fixadoras.

As plantas coletadas no campo (cortado rente o chão) crescendo concomitantemente com a *M. axillare* foram a: *Sida acuta*, *Megathyrsus maximus*, *Solanum palinacanthum*, *Sida glaziovii*, *Waltheria indica*, *Sidatrum micranthum*.

O solo foi amostrado em julho de 2022 na profundidade de 0-20 cm. Em cada unidade experimental foram coletadas 10 amostras simples para uma amostra composta. A terra fina seca ao ar foi analisada para determinação de C e N analisados pelo método Dumas no analisador elementar CN (Vario MACRO Cube) no laboratório da Embrapa Agrobiologia.

### 3.4.5 Ganho de peso e rendimento de carcaça

Os animais foram pesados mensalmente (a cada 30 dias) com uso de tronco e balança digital. O ganho de peso foi determinado por regressão linear em cada época do ano, onde o intercepto correspondeu ao peso inicial em cada época e a inclinação da reta foi o ganho médio diário (GMD). Após o abate e com o peso de carcaça fornecido pelo frigorífico, foi determinado o ganho médio diário de carcaça, também por regressão. Para isso foi subtraído o peso de carcaça na entrada dos animais pelo peso final de carcaça. Foi considerado um rendimento de carcaça de 50% para o peso inicial dos animais (MOSSBERG et al., 1992). A taxa de lotação (UA·ha<sup>-1</sup>, onde 1 UA = 500 kg de peso corporal) foi estimada para cada estação dividindo o número de UA pelo total de área de cada unidade experimental (ALLEN et al., 2011). O ganho por área foi calculado pela multiplicação do GMD pela taxa de lotação (animais·ha<sup>-1</sup>).

### 3.4.6 Valor nutritivo da forragem

Amostra de plantas de pastejo simulados foram tomadas para determinar o valor nutritivo da forragem nos períodos da Seca e Águas 2 (VRIES, 1995). As amostras foram coletadas aleatoriamente dentro da parcela experimental no extrato correspondente ao 1/4 superior do dossel. Para as parcelas consorciadas a braquiária foi separada da *M. axillare*. As amostras foram secas em estufa a 65 °C por 72 horas. As amostras foram moídas em moinho de faca com peneira de 2 e 1 mm, e uma alíquota foi moída em moinho de rolos até a finura de pó. A MS foi obtida após passar por pesagem a 100°C por 18 horas (método 934.01; AOAC, 2000). A concentração de cinzas foi determinada pela incineração por 4 horas em um forno mufla a 600 °C (método 942.05; AOAC, 2000). A concentração de proteína bruta (PB) foi calculada com base na concentração de N (PB= N total × 6.25). O C e N das amostras de pastejo simulado foram analisados pelo método Dumas no analisador elementar CN (Vario MACRO Cube no laboratório da Embrapa Agrobiologia).

A fibra em detergente neutro (FDN) livre de cinzas foi determinada pelo método de autoclave a 105°C por 60 min (PELL; SCHOFIELD, 1993). A digestibilidade da MS *in vitro*

(DIVMS) foi determinada utilizando a o método DAISY-II por 48 horas (HOLDEN, 1999). O líquido ruminal foi coletado de novilhas fistuladas consumindo dieta de braquiária em monocultura ou consorciada com leguminosa, de acordo com o tratamento.

### 3.4.7 Consumo, produção fecal e urinária

Foram determinados o consumo de forragem, a produção fecal e urinária nos períodos da Seca e Águas 2. O consumo de forragem foi estimado a partir da produção fecal e conteúdo de fibra indigestível em detergente neutro (FDNi).

A produção fecal foi estimada com uso do indicador externo de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) (MYERS et al., 2004). Durante nove dias consecutivos, seis para adaptação e três para coletas, foram fornecidos 10 g de  $\text{TiO}_2$  por animal por dia. O fornecimento do indicador foi realizado no tronco do curral, sempre no mesmo horário. As amostras de fezes foram coletadas diretamente do reto dos animais. Amostras *spot* de fezes foram coletadas uma vez ao dia no mesmo horário (pela manhã), e uma amostra composta dos três dias de coleta foi feita para cada animal. As amostras de fezes foram secas a 65 °C por 72 horas para determinar a MS, pesadas e moídas em moinho do tipo faca com peneira de 1 mm e 2 mm, outra alíquota das amostras do tratamento consórcio foi moída em um moinho de rolos. As amostras compostas de fezes moídas a 1 mm foram utilizadas para determinação do  $\text{TiO}_2$  por colorimetria (SHORT et al., 1996).

As amostras de pastejo simulado (Item 0) e fezes moídas a 2 mm foram incubadas no rúmen de uma novilha por 288 horas para determinar o FDNi (HUHTANEN; KAUSTELL; JAAKKOLA, 1994). Duas novilhas canuladas alimentadas com dieta que consistia em Marandu foram utilizadas na estimativa de FDNi. A produção fecal foi usada para encontrar a quantidade total de FDNi nas fezes; assim, obteve-se a estimativa da ingestão diária de FDNi. Em seguida, em posse do FDNi das amostras de pastejo simulado foi estimado o consumo de forragem, conforme a fórmula:

$$\text{Consumo} = \text{FDNi}_{\text{excretado}} \div (\text{FDNi}_{\text{pastejo simulado}} \div 100)$$

Onde o consumo é a ingestão de matéria seca em  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ ;  $\text{FDNi}_{\text{excretado}}$  é a quantidade de FDNi da gramínea ou leguminosa excretado em  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ ;  $\text{FDNi}_{\text{pastejo simulado}}$  é a quantidade de FDNi da gramínea ou leguminosa do pastejo simulado em  $\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ .

O resíduo de FDNi das amostras de fezes e pastejo simulado do pasto consorciado foram moídas em moinho de rolos (ARNOLD; SCHEPERS, 2004) e foram utilizadas para determinar o concentração de  $\delta^{13}\text{C}$ . Na determinação do  $\delta^{13}\text{C}$ , a análise foi semelhante ao processo realizado na análise de  $^{15}\text{N}$  para cálculo do Ndfa (%) (Item 0). A proporção de leguminosa no consumo foi calculada pela Equação 3 (MACEDO et al., 2010):

$$\%C_{Leg} = 100 \times \frac{(\delta^{13}C_G - \delta^{13}C_S)}{(\delta^{13}C_G - \delta^{13}C_L)} \quad (3)$$

Onde  $\%C_{Leg}$  é a proporção de carbono oriundo da leguminosa no resíduo do FDNi fecal das amostras,  $\delta^{13}C_G$  é o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do FDNi residual da gramínea (-12,63) coletada no pastejo simulado,  $\delta^{13}C_L$  é o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do FDNi residual da leguminosa (-27,81) coletada no pastejo simulado e  $\delta^{13}C_S$  é o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do FDNi residual das amostras de fezes.

O consumo de matéria orgânica (MO), PB e FDN foram calculados a partir da ingestão diária de MS. A concentração desses nutrientes na dieta foi calculada pelo consumo de nutrientes dividido pelo consumo de forragem. Os coeficientes de digestibilidade aparente da MS, MO e PB no trato total digestivo foi determinada através da produção fecal estimada pelo marcador externo dióxido de titânio (HOMEM et al., 2021b). Além disso, as concentrações de MS, MO e PB das amostras de fezes foram determinadas como descrito para as amostras de pastejo simulado (Item 0). A digestibilidade total (%) foi calculada como (%MS e nutrientes na

dieta - %MS e nutrientes nas fezes) / (%MS e nutrientes na dieta). O coeficiente de digestibilidade aparente foi calculado para MS, MO e PB.

A coleta de urina para quantificar a produção urinária foi realizada concomitantemente com a produção fecal, conforme Chizzotti et al. (2008). Uma alíquota de 12 mL da coleta diária de urina de cada animal foi adicionada 48 mL de ácido sulfúrico 0,02 N (CHEN; GOMES, 1992). Uma amostra composta de urina dos três dias de coleta foi produzida e estocada em potes plásticos à -20 °C. A concentração de creatinina da urina foi determinada usando teste colorimétrico de kit comercial (Creatinine K, Labtest, Lagoa Santa, MG). O volume de urina excretado foi estimado usando a concentração de creatinina como marcador. A excreção urinária de creatinina (UCE) diária é constante e dependente do peso animal, pode ser expressa conforme a equação [UCE (g·dia<sup>-1</sup>)= 0.0345 × *Peso corpo vazio*<sup>0,9491</sup>] para a raça zebu (SILVA et al., 2012). Logo, o volume urinário diário será estimado conforme a Equação 4:

$$UV = (0,0345 \times PCV^{0,9491}) \div UC_c \quad (4)$$

Onde UV é a produção de urina (L·d<sup>-1</sup>); PCV, é o peso de corpo vazio do animal em kg e UC<sub>c</sub> é a concentração de creatinina em (g·L<sup>-1</sup>).

Para determinação de N total, alíquotas de 45 mL de urina de cada tratamento foram tratadas com 5 mL de ácido sulfúrico 10%. As amostras dos três dias de coletas foram transformadas em uma amostra composta por animal e armazenadas a -20°C. A análise de N total foram realizadas logo após a coleta de urina, e o método utilizado foi o Kjeldahl (920.87, AOAC, 2000). A excreção de N (g N·animal<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup>) foi determinada pela concentração de N na urina multiplicado pelo volume urinário produzido por dia.

Além disso, mensalmente foram coletadas fezes frescas nos piquetes consorciados para análise de δ<sup>13</sup>C. As amostras foram tratadas conforme o Item 0 e calculado a proporção de leguminosa nas fezes para correlacionar com a porcentagem de leguminosa no pasto ao decorrer do ano. Estas amostras não foram analisadas para FDNi.

### 3.4.8 Análise estatística

O desenho experimental adotado foi o delineamento de blocos ao acaso com três tipos de pastagem (Consórcio, N-fert e Controle), com quatro repetições e medidas repetidas no tempo (épocas do ano). Os dados foram analisados pelo ajuste de modelos mistos, usando o procedimento MIXED do SAS (SAS Institute, Cary, NC). O efeito de tipo de pasto (TP) e época do ano (EA) foram considerados efeitos fixos, enquanto blocos foram considerados aleatórios. O critério de Akaike foi utilizado para escolha da melhor estrutura de covariância. Todos os componentes da variância foram estimados usando o método da máxima verossimilhança restrita. As médias foram estimadas utilizando o LSMEANS, e as comparações foram feitas utilizando o teste LSD de Fisher. Foi declarada diferença significativa com p<0,05.

## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.5.1 Massa da forragem

A estrutura do pasto avaliada na massa da forragem apresentou diferenças significativa entre os tipos de pastos (TP) nas variáveis: massa seca (MS) total ( $p < 0,001$ ), MS verde ( $p < 0,001$ ), MS de gramínea ( $p < 0,001$ ), MS de material morto ( $p < 0,001$ ), MS de invasoras ( $p = 0,042$ ) em  $\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$  e na relação MS verde:morto ( $p = 0,004$ ). Quanto a época do ano (EA) houve diferença nas variáveis MS de material morto ( $p < 0,001$ ) e relação material verde:morto ( $p < 0,001$ ). Não houve interação entre os fatores TP e EA (

Tabela 4).

A MS total, MS de gramínea e MS de material morto foram maiores para o tratamento N-Fert, enquanto que não houve diferença entre os tratamentos Consórcio e Controle. Para a variável MS verde o tratamento N-Fert foi maior do que o Consórcio, que por sua vez, foi maior que o Controle. A relação material verde:morto foi maior para o tratamento Consórcio, enquanto N-Fert e Controle não diferiram entre si neste parâmetro. Quanto a MS de plantas invasoras o tratamento o Controle apresentou diferença significativa quando comparado com o Consórcio, ao passo N-Fert não diferiu de ambos os tratamentos. O período da Seca obteve uma massa maior de material morto do que o período das Águas. A relação de material verde:morto foi maior para o período das Águas em comparação ao período da Seca.

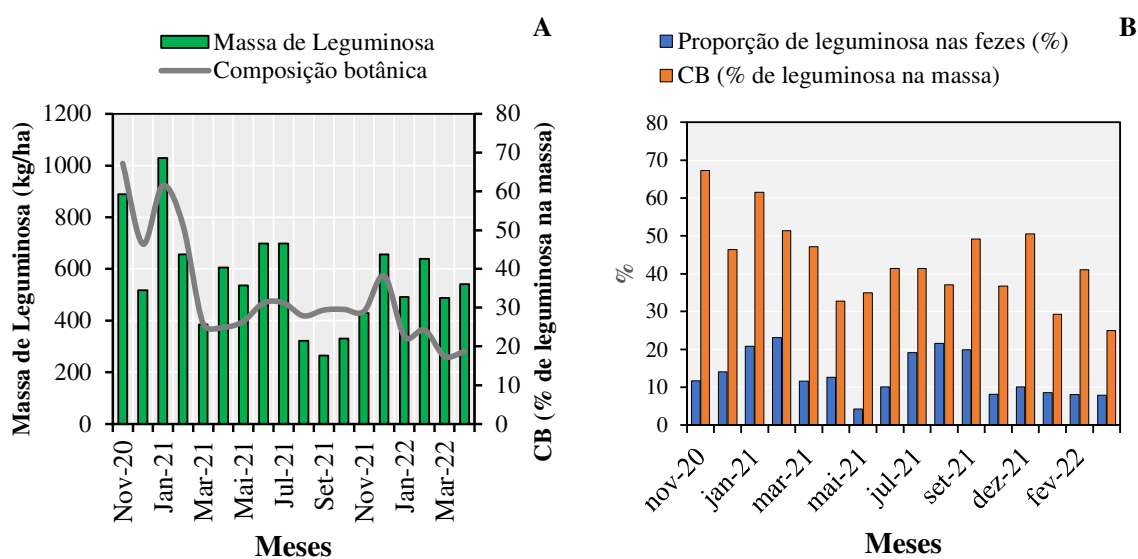
**Tabela 4.** Massa seca (MS) de braquiária Marandu coma ou sem adubação, ou consorciado com *Macrotyloma axillare*, médias de coletas mensais durante a época da Seca e das Águas.

Variáveis	Tipo de pastagens (TP)			Época do ano (EA)		EPM	p-valor		
	N-Ferta	Consórcio	Controle	Águas	Seca		TP	EA	TP*EA
MS total, kg MS·ha <sup>-1</sup>	3983a	2740b	2314b	2875	3150	199	<0,001	0,140	0,460
MS verde, kg MS·ha <sup>-1</sup>	1925a	1606b	991c	1542	1473	114	<0,001	0,548	0,731
MS gramínea, kg MS·ha <sup>-1</sup>	1925a	1098b	991b	1368	1307	111	<0,001	0,569	0,757
MS material morto, kg MS·ha <sup>-1</sup>	2034a	1132b	1290b	1306b	1664a	144	<0,001	<0,001	0,095
MS de plantas invasoras, kg MS·ha <sup>-1</sup>	24,4ab	2,6b	33,4a	27,1	13,2	10,8	0,042	0,132	0,416
Relação verde:morto	0,96b	1,61a	0,78b	1,31a	0,92b	0,16	0,004	<0,001	0,225

Notas: a adubado com 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup>; nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas (p<0,05) pelo teste LSD. Abreviações: EPM Erro padrão da média (n=4).

Durante o período de 15 meses do experimento a massa de forragem foi avaliada mensalmente. A *M. axillare* participou na média com  $565 \pm 10,8$  kg MS·ha<sup>-1</sup>, equivalente a  $34 \pm 0,8\%$  na participação da MS verde (média±erro padrão da média,

Figura 9). A participação da leguminosa em pastagem consorciada é considerado adequada se varia entre 20 a 45% na massa da pastagens (THOMAS; SUMBERG, 1995; THOMAS, 1992). Portanto, os pastos consorciados de gramínea com de leguminosas deste estudo atenderam a recomendação técnica de participação da leguminosa nos pastos. No começo do experimento a leguminosa contribuía com quase 67% e ao fim do experimento com cerca de 25%. O Consórcio de *M. axillare* com *U. brizantha* pode ser considerado um consórcio desbalanceado, uma vez que houve uma elevada proporção de massa de *M. axillare* no dossel no início do experimento com redução gradual da massa de leguminosa, apesar dos esforços para manutenção da leguminosa com ressemeadura. Segundo Alviarez et al. (2020), foi verificada drástica redução na massa de calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) em consórcio com *U. brizantha* na primeira estação de avaliação do estudo. Ainda segundo os autores, a persistência de leguminosas volúveis de hábito trepador como o calopogônio depende do recrutamento de novas plantas, portando, o manejo deve ser focado na preservação da leguminosa durante o florescimento e da sementeira natural da planta. Entretanto, a regeneração da leguminosa com baixa proporção no dossel apenas adotando estratégias de manejo da pastejo poderia levar cerca de dois anos (ALVIAREZ et al., 2020). O pastejo impõe uma dificuldade sobre a leguminosa volúvel de produzir sementes e recrutar novas plantas, pois seus pontos de crescimento ficam expostos ao pastejo, o que impede a leguminosa atingir o estágio reprodutivo (BODDEY et al., 2020).



**Figura 9.** (A) Proporção (%) de leguminosa na massa de forragem verde e a massa seca de leguminosa produzida (kg·ha<sup>-1</sup>) no dossel do tratamento Consórcio. (B) Proporção de leguminosa nas fezes (%) e proporção de leguminosa na massa de forragem verde (%). CB= composição botânica.

Neste experimento, a adubação nitrogenada aumentou a massa de forragem em comparação aos tratamentos Consórcio e Controle. As pastagens tropicais são altamente responsivas à adubação nitrogenada. A *U. brizantha* cv. Marandu adubada em diversas doses de N-fertilizante apresentou resposta linear na produção de massa em doses de até 270 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (DELEVATTI et al., 2019). O aumento da produção de massa é devido ao aumento da taxa de alongamento das folhas, aumento na densidade de perfilhos e taxa de aparecimento de



perfilhos (SALES et al., 2020). Quanto a MS verde, o Consórcio foi maior que o Controle, onde em grande parte o ganho em massa foi devido a adição da massa da leguminosa corroborando com trabalhos conduzidos com outras leguminosas forrageiras, como o *Desmodium ovalifolium* na região de Mata Atlântica (DOS SANTOS et al., 2022) e *Arachis pintoi* em região de Mata Atlântica em transição para Cerrado (HOMEM et al., 2021c).

Na pastagem consorciada, a MS da gramínea foi 43% menor que o tratamento com N-Fert. Leguminosas de hábito volúvel e trepador têm uma grande capacidade de interceptação luminosa por ter folha de abertura vertical e plana no topo do dossel. Em um estudo com consórcio de calopogônio e com Marandu, observou-se que a medida que se aumentou a frequência de pastejo, aumentou também a massa do calopogônio, aumentando a competição por luz e reduziu a taxa de acumulação da gramínea que ofertou um dossel cada vez mais jovem (ALVIAREZ et al., 2020).

É importante salientar que em consórcio há interações positivas e negativas que ocorrem simultaneamente (ANDRADE; FERREIRA; CASAGRANDE, 2015). Nesse sentido, apesar da interação negativa de competição entre plantas, a introdução da leguminosa na pastagem condicionou a melhora na estrutura do pasto em comparação aos pastos em monocultura. O benefício da introdução da leguminosa é ocasionado seja pelo aumento do conteúdo de material verde no pasto em relação ao controle, ou pelo aumento da relação material verde:morto, ou diminuindo a quantidade de plantas invasoras em relação aos demais tratamentos. O gráfico de proporção da leguminosa nas fezes em relação a proporção de leguminosa no pasto (

Figura 9) demonstra que há uma possível seleção em favor da braquiária. Este fato pode ser decorrente da menor palatabilidade da leguminosa em comparação a braquiária, portanto, aumentando a pressão sobre a braquiária (LASCANO, 2000). Entre os fatores que acarretam a melhora da estrutura do pasto, pode-se inferir sobre o aumento da eficiência de desfolha e melhor aproveitamento da braquiária pelos animais, uma vez que o Consórcio apresentou maior relação material verde:morto do que os tratamentos em monocultura e menor massa de material morto em relação ao N-Fert. Apesar da leguminosa *M. axillare* ter o hábito de abscisão foliar e praticamente não acumular material morto no dossel, o tratamento Consórcio teve um MS de gramínea 10 % maior e uma MS de material morto 12 % menor do que o Controle, embora não tenha observado diferença estatística entre esses tratamentos.

A leguminosa *M. axillare* por ser pouco consumida pelos animais, conferiu vantagem a ela para ocupar espaços dentro dos piquetes. Tornando assim, o ambiente mais competitivo por luz e suprimindo plantas invasoras, verificada na diferença estatística entre o Consórcio e o Controle na massa de planta invasoras. Outra abordagem quanto à supressão de invasoras vem da entrada de nitrogênio via adubação ou FBN, que aumenta o vigor da braquiária sob pastejo, distanciando a pastagem de vias de degradação, reduzindo assim a sucessão por plantas invasoras tolerantes a ambientes mais pobres em N disponível (BODDEY et al., 2004).

A época do ano influenciou sobre o MS morto e relação de material verde:morto. No período das Secas foi observado maior massa de material morto e menor relação de material verde:morto. No período seco aumenta o estresse causado por déficit hídrico e temperaturas mais baixas aumentam as taxas de senescência e conseqüentemente há aumento da massa de material morto e uma menor relação de material verde:morto, até mesmo em pastagens adubadas (HOMEM et al., 2021c).

### 3.5.2 Nitrogênio derivado da atmosfera

A análise de  $\delta^{15}\text{N}$  das plantas referências foram: *Sida acuta*  $1,7\pm 0,05\%$ , *Megathyrsus maximus*  $2,0\pm 0,2\%$ , *Solanum palinacanthum*  $2,2\pm 0,7\%$ , *Sida glaziovii*  $2,9\pm 0,4\%$ , *Waltheria indica*  $3,1\pm 0,4\%$ , *Sidatrum micranthum*  $2,3\pm 0,6\%$ , compondo uma média de  $2,4\%$   $\delta^{15}\text{N}$ . A *M. axillare* apresentou uma média de  $-1,7\pm 0,1\%$ . Considerando um valor *B* de  $-1,83\%$  (UNKOVICH et al., 2008) ou  $-1,37\%$  (AMARAL et al., 2022) o nitrogênio derivado da fixação do ar (%Ndfa) é 95,9% ou mais de 100% respectivamente. O estudo de Amaral et al. (2022) utilizou estirpes selecionadas na mesma área desse estudo e conduziu o experimento próximo ao local desse experimento. Porém, apresentou valor *B* que resultou em um %Ndfa maior que 100%. A determinação do valor *B* é realizada com experimento em condições controladas. É recomendo que as plantas colhidas nesse tipo de experimento esteja no mesmo estágio fisiológico das plantas para a determinação de %Ndfa nas condições de campo (ARAUJO et al., 2018). As plantas colhidas no experimento de Amaral et al. (2022) pode não corresponder a idade médias das plantas do pasto nesse experimento.

O nitrogênio derivado da atmosfera em outros estudos de consórcio com leguminosas forrageiras tropicais variaram de 60% a 98,6% (DOS SANTOS et al., 2022; DUBEUX et al., 2017; SANTOS et al., 2018b). Em pastagens consorciadas de gramínea com leguminosas forrageiras tropicais a FBN contribui anualmente com a entrada de 42 a 155 kg de  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$  disponibilizado via liteira (CANTARUTTI et al., 2002; HOMEM et al., 2021<sup>a</sup>). A FBN em monocultura de leguminosas forrageiras pode alcançar até 280 kg de  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (DUBEUX et al., 2017) com média entre 160 a 200 kg de  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$  no N total da massa da forrageira (CARVALHO et al., 2019; DUBEUX et al., 2017).

Os tecidos da *M. axillare* não consumido pelos animais retornam ao solo via liteira. Nesse sentido, o Consórcio obteve uma concentração de C e N no solo maior em relação aos demais tratamentos em monocultura (Tabela 5). Os valores foram 27% e 35% maior em relação ao Controle e o N-Fert, respectivamente, e os tratamentos sob monocultura não diferiram entre si. Em consórcios de leguminosas com gramíneas forrageiras tropicais quando comparadas com pastagens de gramíneas em monocultura e adubadas, o consórcio comumente deposita menos liteira, porém, deposita uma liteira de maior concentração de N, levando a mesma ou superior concentração de N ciclado via liteira (SOLLENBERGER; DUBEUX, 2022). Durante o processo de decomposição da liteira o que o substrato mais susceptível ao consumo pelos microrganismos e estabilização como matéria orgânica do solo é o material mais lábil e com mais N orgânico (COTRUFO et al., 2013).

**Tabela 5.** Concentração de N (%) e C (%) no solo (0-20 cm) sob pasto de Marandu com<sup>a</sup> ou sem adubação nitrogenada ou consorciado com *Macrotyloma axillare* (três anos após estabelecimento do consórcio).

Variáveis	Consórcio	N-Fert <sup>a</sup>	Controle	EPM	p-valor
C (%)	1,082a	0,675b	0,799b	0,019	0,023
N (%)	0,082a	0,053b	0,060b	0,001	0,037
C:N	13,12	13,20	12,79	0,033	0,410

Notas: <sup>a</sup> adubado com  $138 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ; Nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD. Abreviações: Erro padrão da média (EPM).

### 3.5.3 Valor nutritivo, dieta, consumo e excreção de N

Nas épocas do ano, Secas e Águas 2, no auge da influência dessas épocas do ano sobre o pasto, foram feitas avaliações do valor nutritivo da forragem, dieta, consumo e excreção de

N pelos animais. Houve diferença significativa no valor nutritivo do capim Marandu, para proteína bruta (PB) entre os TP ( $p < 0,001$ ) (

Tabela 6). Foi constatada diferença significativa para fibra indigestível em detergente neutro (FDNi) e matéria orgânica (MO) entre os tipos de pastagem ( $p < 0,047$ ) e época do ano ( $p < 0,001$ ). Também houve diferença significativa entre as épocas do ano (EA) para a variável digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), porém não houve interação entre TP e a EA para nenhuma das variáveis avaliadas do valor nutritivo do capim Marandu.

O capim Marandu apresentou maior concentração de PB para o tratamento Consórcio em relação aos tratamentos em monocultura N-fert e Controle. Esse dado corrobora com Dos Santos et al. (2022), que verificaram maior concentração de PB no capim Marandu no pasto consorciado com *Desmodium ovalifolium* em relação aos tratamentos em monocultura, os autores atribuem a maior concentração de PB na braquiária do consórcio devido à transferência do N derivado da FBN para a gramínea. Como mencionado, foi verificada maior concentração de N no solo para o tratamento consorciado em relação aos tratamentos em monocultura e elevado porcentagem de N derivado do ar na *M. axillare*. Além do aumento na concentração de proteína do capim Marandu, foi verificado também o aumento, com diferença significativa, para a concentração de proteína da dieta, na ingestão de proteína (isto é, consumo por % do peso corporal por dia), na digestibilidade aparente da proteína e consumo de N do tratamento consórcio em relação aos tratamentos em monocultura (Tabela 7). Devido principalmente a introdução da *M. axillare* na dieta que apresenta duas vezes mais proteína do que o Marandu, 16,88% e 8,79%, respectivamente (dados do mesmo tratamento).

**Tabela 6.** Valor nutritivo do capim Marandu em monocultura sem ou com adubação de 138 kg N-urea·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup>, ou consorciado com *Macrotyloma axillare* de uma avaliação na época das Águas e outra na época Seca.

Variáveis	Tipo de pastagens (TP)			Época do ano (EA)		EPM	p-valor		
	N-Fert	Consórcio	Controle	Águas	Seca		TP	EA	TP*EA
MO, %	92,6a	91,4b	91,2b	92,2a	91,2b	0,23	0,003	0,031	0,492
PB, %	6,94b	8,79a	7,11b	7,28	7,94	0,16	<0,001	0,189	0,389
FDN, %	70,2	64,7	66,3	68,5	65,6	2,0	0,167	0,175	0,244
FDNi, %	25,8b	27,6a	26,8ab	23,1b	30,3a	0,70	0,047	<0,001	0,433
DIVMS, %	65,9	66,7	65,4	70,8a	61,2b	0,89	0,595	<0,001	0,145

Notas: Valor nutritivo do *Macrotyloma axillare* no tratamento Consórcio – MO: 95,3%, PB: 16,88%, FDN: 38,7%, FDNi: 22,6%, DIVMS: 80,3%; Nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas (p<0,05) pelo teste LSD; Abreviações: Erro padrão da média (EPM); adubado com 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (N-Fert), matéria orgânica (MO), fibra em detergente neutro (FDN), fibra indigestível em detergente neutro (FDNi), digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS).

**Tabela 7.** Dieta, consumo e digestibilidade aparente de pastagem de Marandu em monocultura sem ou com adubação de 138 kg N-urea·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> ou consorciado com *Macrotyloma axillare* de uma avaliação na época das Águas e outra na época Seca.

Variáveis	Tipo de pastagens (TP)			Época do ano (EA)		EPM	p-valor		
	N-Fert	Consórcio	Controle	Águas	Seca		TP	EA	TP*EA
Dieta, %									
MO	92,6a	92,1a	91,2b	92,4	91,5	0,22	0,003	0,051	0,346
PB	6,94b	9,95a	7,11b	7,74	8,22	0,22	<0,001	0,148	0,129
FDN	70,2a	61,1b	66,3ab	67,2	64,4	2,2	0,035	0,143	0,173
FDNi	25,8	27,2	26,8	23,1b	30,2a	1,0	0,624	<0,001	0,395
Consumo, %PC/dia									
MS	1,96	1,79	1,83	2,40a	1,33b	0,16	0,725	<0,001	0,521
MO	1,81	1,65	1,67	2,21a	1,21b	0,15	0,674	<0,001	0,540
PB	0,13b	0,18a	0,13b	0,19a	0,11b	0,01	0,035	<0,001	0,241
FDN	1,39	1,07	1,22	1,60a	0,84b	0,10	0,129	<0,001	0,479
Digestibilidade aparente, %									
MS	49,5	50,5	48,1	56,5a	42,2b	0,02	0,562	<0,001	0,181
MO	55,0	55,8	55,3	62,2a	48,7b	0,01	0,927	<0,001	0,265
PB	37,2b	56,9a	37,3b	46,4	41,2	0,03	<0,001	0,073	0,060

Notas: A proporção média de *Macrotyloma axillare* no consumo de forragem foi de 15,71%; Valor nutritivo do *Macrotyloma axillare* no tratamento Consórcio – MO: 95,3%, PB: 16,88%, FDN: 38,7%, FDNi: 22,6%, DIVMS: 80,3%; Abreviações: Erro padrão da média (EPM); adubado com 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (N-Fert), massa seca (MS), matéria orgânica (MO), fibra em detergente neutro (FDN), fibra indigestível em detergente neutro (FDNi), digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), Peso corporal (PC).

Quanto à dieta, houve diferença significativa para MO, PB e fibra em detergente neutro (FDN) entre os TP ( $p < 0,0001$ ). Houve diferença significativa entre as EA para FDNi ( $p < 0,0001$ , Tabela 7). Em relação ao consumo, houve diferença significativa entre os TP para PB ( $p < 0,035$ ). Foi verificada diferença significativa entre as EA para todas as variáveis avaliadas do consumo, sendo elas matéria seca (MS), MO, PB e FDN ( $p < 0,0001$ ). Não houve interação entre TP e a EA para nenhuma das variáveis avaliadas da dieta e consumo.

Relativo à digestibilidade aparente, foi verificada diferença significativa entre os tipos de pastagem para a PB ( $p < 0,001$ , Tabela 7). Também houve diferença entre as EA para as variáveis MS e MO ( $p < 0,001$ ). Não foi observado interação entre TP e a EA para nenhuma das variáveis avaliadas da digestibilidade aparente.

Foi constatado diferença significativa entre os TP para o consumo de N ( $p < 0,001$ , Tabela 8). Também houve diferença significativa entre as EA em todas as variáveis da avaliação do metabolismo do nitrogênio ( $p < 0,001$ ), exceto para excreção de N na urina ( $p = 0,077$ ). Não foi verificada interação entre TP e EA para nenhuma das variáveis avaliadas do metabolismo e consumo.

Carboidratos estruturais são tipicamente expressos como fibra em detergente neutro (FDN), que por sua vez consiste no material remanescente após digestão em solução de detergente neutro por uma hora (ERICKSON; KALSCHEUR, 2020). Houve diferença significativa entre os tratamentos N-Fert e Consórcio para o FDN da dieta dos animais, o tratamento consorciado registrou menor concentração de FDN em relação ao tratamento adubado, provavelmente devido à adição da leguminosa na dieta que apresentou 38,7% de FDN ao passo que o capim Marandu 64,7% de FDN (Tabela 7 e

Tabela 6). É esperado maior teor de FDN nas gramíneas em relação as leguminosas (QUINTERO-ANZUETA et al., 2021). Relativo a redução de FDN da gramínea sob efeito do consórcio com leguminosas, foi verificado, consistentemente, maior concentração de FDN em pasto com gramínea em monocultura em relação à gramínea em consórcio, em sete arranjos de consórcio de gramínea com leguminosas em um estudo de clima temperado (ELGERSMA; SØEGAARD, 2016). Por outro lado, a qualidade da pastagem está intimamente ligada a idade (VENDRAMINI et al., 2014). Dito isso, pode ter havido subpastejo no tratamento N-Fert, o que levou ao aumento do teor de FDN. No entanto, segundo Berça et al. (2021) e Homem et al. (2021b), em estudo de avaliação entre pastagem em consórcio de gramínea e leguminosa e monocultura de gramínea fertilizada, com estabelecimento de meta de manejo de 95% de interceptação luminosa, foi verificado ausência ou menor teor de FDN para a dieta dos tratamentos fertilizados em relação ao consórcio.

A época do ano foi o fator mais importante para a qualidade da dieta dos animais. Constatou-se maior concentração de FDNi para época das Secas em relação à época das Águas e maior DIVMS no período das Águas do que em relação a Seca. A digestibilidade aparente da MS e da MO também foi maior no período das Águas. É esperado que haja maior concentração de fibra de baixa qualidade no período seco, uma vez que acumula no dossel material de maior maturidade fisiológica, ocorrência de maior processo de senescência e redução de proteína nas folhas (NORDHEIM-VIKEN; VOLDEN, 2009). Ainda segundo os autores, a maior maturidade fisiológica tem relação direta com maior conteúdo de FDNi e consequentemente redução da digestibilidade.

**Tabela 8.** Metabolismo de N e consumo de matéria orgânica digestível (CMOD) de amostras de pastagem de capim Marandu em monocultura sem ou com adubação de 138 kg N-urea·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> ou consorciado com *Macrotyloma axillare*, de uma avaliação na época das Águas e outra na época Seca.

Variáveis	Tipo de pastagens (TP)			Época do ano (EA)		EPM	p-valor		
	N-Fert	Consórcio	Controle	Águas	Seca		TP	EA	TP*EA
CMOD, kg/dia	5,17	4,83	4,90	7,24a	2,69b	0,47	0,811	<0,001	0,659
Consumo de N, g/animal/dia	101,6b	146,8a	102,7b	156,8a	77,2b	10,8	0,018	<0,001	0,244
Excreção de N nas fezes, g/animal/dia	54,7	50,8	50,6	70,2a	33,8b	4,8	0,736	<0,001	0,413
Excreção de N na urina, g/animal/dia	39,6	40,2	43,4	37,4	44,7	3,86	0,654	0,077	0,905

Notas: Nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD; Abreviações: Erro padrão da média (EPM); adubado com 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup> (N-Fert), Consumo de matéria orgânica digestível (CMOD).

O consumo por peso corporal foi maior para o período das Águas em comparação com a Seca em todas as variáveis analisadas (MS, MO, PB, FDN; Tabela 7). Não houve diferença entre a disponibilidade de massa de material verde entre as épocas do ano (

Tabela 4), portanto, o maior consumo nas Águas pode ser devido a diferença na estrutura do pasto, que pode ter causado mudança no comportamento de ingestão de forragem entre as estações. Em estudo avaliando *Urochloa plantaginea* e *Cynodon dactylon* sob pastejo de novilhas no período vegetativo e reprodutivo das gramíneas, observou-se diferença entre os tratamentos no consumo de MS e FDN por peso corporal, com maior consumo para o período vegetativo (OLIVEIRA NETO et al., 2013). Os autores atribuem a redução no consumo no período reprodutivo das gramíneas devido à alteração na estrutura e qualidade nutricional do pasto, isto é, ao aumento de material morto, redução na massa de folhas e maior concentração de FDN, que por sua vez influenciou no comportamento de pastejo, diminuindo o número de bocados e aumentando o tempo por estação de pastejo. Quanto ao valor nutricional, o período Seco apresentou menor digestibilidade *in vitro* e digestibilidade aparente da MS e MO e maior FDNi. Esse fato pode ter reduzido a taxa de passagem, causando distensão física do rumem e retículo limitando a ingestão, fato comum em pastagens tropicais de alta concentração de FDN (MINSON, 1990).

O tratamento Consórcio apresentou maior consumo de N em relação aos tratamentos em monocultura ( $p=0,018$ ;

Tabela 8). Isso deve ser uma consequência da maior concentração de proteína no Marandu do Consórcio e da dieta fornecida, isto é, Marandu + *M. axillare*, que refletiu na concentração de proteína consumida. O maior consumo de proteína em consórcios de Marandu com leguminosa em relação a tratamentos em monocultura de Marandu é corroborado pelos estudos de Marandu com *Desmodium ovalifolium* e Marandu com *Arachis pintoi* (DOS SANTOS et al., 2022; HOMEM et al., 2021b). Interessante ressaltar que, apesar do maior consumo de N no pasto consorciado, não houve diferença para a excreção de N entre os TP (

Tabela 8). Homem et al. (2021a) discute que o consórcio apresenta maior sinergismo entre a relação proteína:energia no rumem, o que leva a maior síntese microbiana por proteína bruta ingerida, resultando em maior eficiência do uso do nitrogênio em pastagem consorciada em detrimento a pastagem em monocultura adubado com  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

Foi verificado maior consumo e excreção de N nas fezes no período das Águas em comparação com a Seca ( $p<0,0001$ ;

Tabela 8). A diferença na excreção das fezes entre épocas do ano estaria ligada a melhor dieta ofertada no período das Águas. Associado a isso, outro fator pode ter sido causado essa diferença foi o ganho de peso dos animais entre as épocas do ano no momento das coletas de excretas,  $455\pm 9,2$  e  $533\pm 1 \text{ kg}\cdot\text{cabeça}^{-1}$ , para época Seca e Águas, respectivamente. Em estudo realizado na Florida-EUA, foi verificado maior excreção de N nas fezes e urina no período quente do ano (GARCIA et al., 2021). Os autores atribuem a maior excreção de N total no período quente por causa da maior taxa de lotação e pela presença de animais mais pesados no experimento durante o período quente do ano.

Considerando o período Seco de 120 dias e o das Águas de 245 dias, com uma lotação fixa de 2 animais/ha, os animais excretaram em um ano  $30,9 \text{ kg de N}\cdot\text{ha}^{-1}$  na urina e  $73 \text{ kg de N}\cdot\text{ha}^{-1}$  nas fezes. Esse valor corresponde a razão N-urina:N-fezes de 0,42:0,58. Segundo o refinamento do IPCC (2019) essa razão é assumida em 0,66:0,4. Não obstante, o baixo valor nutritivo da dieta obtida pelos animais, nesse estudo, ao longo do ano resulta em uma maior excreção via fezes, corroborando com Zhu et al. (2021), que conduziram estudos de excreta de N e emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  em regiões tropicais na época seca, no Quênia. Em regiões tropicais, a criação de gado de corte é tipicamente a pasto até a finalização, geralmente sob pouco manejo do pasto e reposição de nutrientes, onde a sazonalidade climática pode levar ao fornecimento de uma dieta aos animais abaixo do requerimento metabólico. Logo, provavelmente, a razão de

N-urina:N-fezes devem ser mais baixas para regiões tropicais, do que as assumidas pelo refinamento do IPCC (2019).

### 3.5.4 Produção animal

Foi verificada diferença significativa ( $p < 0,001$ ) quanto a EA para as variáveis: ganho médio diário ( $\text{GMD kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ ,  $p < 0,001$ ) e ganho por área ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) entre estações do ano (Tabela 9). Não houve diferença estatística para as demais variáveis. Neste estudo, a sazonalidade climática foi o principal fator para produção animal. O período das Águas apresentou um ganho diário em quilogramas e por área 77% maior do que o período Seco. Em ambas as EA o material em oferta da MS verde foi próximo, 1,71 e 1,66  $\text{kg MS verde}^{-1}\cdot\text{kg peso vivo}^{-1}$ , para o período das Águas e Seca, respectivamente. Portanto, a estrutura do pasto pode ter levado a um baixo ganho de peso durante o período seco. Como mencionado, houve acúmulo de material morto no dossel, que limita a profundidade do bocado, que por sua vez leva ao aumento do tempo diário gasto com pastejo, reduzindo o GMD (EUCLIDES et al., 2014). Apesar disso, o ganho de peso tem apresentado média acima do sistema pecuário brasileiro extensivo, ou seja, manutenção do peso no período seco e ganho de 0,4 - 0,5  $\text{kg animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$  nas águas (BARBOSA ALVIM et al., 2015).

Em sistemas de pastagens o ganho de peso vivo é determinado pela performance animal e taxa de lotação (PEREIRA et al., 2020). Nesse sentido, com a taxa de lotação fixa, a performance por si só não foi capaz de provocar diferença entre os TP. Nas condições desse estudo, o maior consumo associado a maior digestibilidade das pastagens no período das Águas teve maior importância no desempenho animal. De fato, o aumento no ganho de peso está ligada a taxa de ingestão de nutrientes pelos animais e a digestibilidade da forragem consumida (CHAPMAN et al., 2007). A digestibilidade e ingestão de nutrientes obtiveram diferença entre as EA. Foi observado maior consumo de nutrientes por peso corporal, maior digestibilidade *in vitro* e digestibilidade aparente da MS e da MO, maior consumo de matéria orgânica digestível e maior ganho de peso na época das Águas.

Apesar do maior potencial produtivo por área do pasto adubado (HOMEM et al., 2021b), esse estudo com adubação de 138  $\text{kg N ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  em detrimento ao sistema consorciado ou sem adubação não houve diferença em relação ao desempenho animal entre os tratamentos. Isso pode ser justificado pela taxa de lotação fixa, o que limitou o melhor aproveitamento do pasto adubado, que por sua vez acumulou mais material morto (

Tabela 4), e provavelmente maior massa de colmo (não avaliado). Dessa forma, o pasto adubado esteve sob subpastejo, evidenciando a importância da estrutura do pasto, no que diz respeito a condições mais favoráveis ao consumo do pasto pelos animais, sendo necessário estabelecer metas de pastejo adequadas para o manejo (DA SILVA et al., 2013).



**Tabela 9.** Produção de novilhos inteiros “azebuados” em pastejo contínuo de pasto de capim Marandu coma ou sem adubação, ou consorciado com *Macrotyloma axillare*, de uma avaliação durante as épocas das Seca e outra na época das Águas.

Variáveis	Tipo de pastagens (TP)			Época do ano (EA)		EPM	p-valor		
	N-Ferta	Consórcio	Controle	Águas	Seca		TP	EA	TP*EA
GMD, kg/dia	0,475	0,444	0,406	0,721A	0,163B	0,08	0,627	<0,001	0,619
Taxa de lotação, UA/ha	1,80	1,76	1,80	1,80	1,77	0,08	0,863	0,189	0,555
Ganho por área, kg/ha/dia	0,951	0,887	0,813	1,44A	0,326B	0,137	0,647	<0,001	0,432
Peso inicial, kg/cabeça	364	348	364	-	-	18,3	0,729	-	-
Peso final, kg/cabeça	605	578	580	-	-	24,2	0,568	-	-
Ganho de carcaça, kg/dia	0,294	0,316	0,297	-	-	0,04	0,929	-	-

Notas: a adubado com 138 kg N ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; Nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas (p<0,05) pelo teste LSD; Abreviações: GMD ganho médio diário; UA unidade animal, 500 kg (ALLEN et al., 2011); EPM erro padrão da média.

### 3.6 CONCLUSÕES

Em comparação com o pasto de capim Marandu em monocultura, sem ou com adubação de 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup>, o consórcio de capim Marandu com *Macrotyloma axillare* obteve uma dieta de maior conteúdo de proteína e maior digestibilidade, com uma maior ingestão de N pelos animais, sem aumentar a excreção de N. Os animais do tratamento Consórcio mantiveram o mesmo ganho de peso que do tratamento adubado com 138 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup>, sem, no entanto, ter o custo ambiental da emissão de GEE inerentes a produção e aplicação da ureia. Além disso, em relação ao tratamento Controle, a leguminosa aumentou a concentração de N no solo e aumentou a cobertura vegetal, reduzindo a massa de plantas invasoras, indicadora de degradação da pastagem. Portanto, o uso de *M. axillare* tem potencial de ser uma ferramenta para mitigação de GEE em sistema de pastagem tropical.

A época do ano teve forte influência na qualidade do pasto e desempenho animal. A maior temperatura e precipitação no período das águas condicionou o capim Marandu à maior produção de massa enquanto o período Seco favoreceu a senescência da biomassa. Isto levou ao período das Águas, em comparação com período Seco, a apresentar menor conteúdo de material morto no pasto, maior ganho médio diário de peso vivo dos animais.

#### **4. CAPÍTULO III**

### **EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE EXCRETAS E BALANÇO DE NITROGÊNIO DE URINA DE ANIMAIS QUE PASTARAM EM MONOCULTURA DE BRAQUIÁRIA OU CONSORCIADAS COM LEGUMINOSA FORRAGEIRA**

#### 4.1 RESUMO

Há poucos resultados sobre perdas, lixiviação, e imobilização do N das excretas bovinas em regiões tropicais. Cada um desses processos é influenciado pelas características da excreta e por fatores ambientais após sua deposição no solo. Também não há na literatura informações acerca da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e perdas de N das excretas de animais que pastejaram sob pastos consorciados de gramínea com leguminosas forrageiras. Nesse sentido, os objetivos desse trabalho foram: mensurar emissões de N<sub>2</sub>O, volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) de fezes e urina e realizar um balanço de massa do N da urina por meio da técnica de marcação com <sup>15</sup>N. As excretas foram coletadas de animais que pastejaram em pastos consorciados de capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu com a leguminosa *Macrotyloma axillare* cv. Java (Consórcio) ou de capim Marandu em monocultura (Monocultura), sob lotação contínua. Foi conduzido um experimento com delineamento em blocos casualizados, com seis repetições, avaliando os tipos de dieta (Consórcio ou Monocultura) em duas épocas do ano, Seca e Águas, em um pasto de monocultura de capim Marandu sem acesso de animais. A introdução da *M. axillare* não contribuiu para o aumento de emissão de GEE das excretas bovinas ou no destino do N da urina em relação ao tratamento em Monocultura. O clima afetou o destino do N após a deposição da excreta no solo. O período das Águas em relação a Seca, aumentou a concentração de N da urina nas profundidades de 10-20 cm e houve maior recuperação pelo capim Marandu na borda da câmara, o que leva a inferir que o período das Águas foi mais susceptível a perda de N por lixiviação ~23%. Em contrapartida, no período da Seca verificou-se maiores perdas por volatilização de amônia, principalmente da urina ~3,7%. Independentemente da época do ano, o solo é o maior destino do N da urina, cerca de 54%. A imobilização do N da urina pelo solo e pelo capim Marandu, associado às baixas concentrações do N das excretas, vistas nesse estudo, pode ser a causa das baixas perdas de N. O sistema solo-planta recuperou 96,2% do N da urina, visto no experimento da Seca e 75,54% nas Águas. Os FE's foram inferiores as médias compiladas pelo IPCC. É recomendado, portanto, que mais estudos devam ser realizados para desagregação dos FE<sub>N2O</sub> de excretas bovinas por qualidade do pasto em climas tropicais.

**Palavras-chave:** Excreta bovina. Destino do N. Urina marcada.

## 4.2 ABSTRACT

There are few results on losses, leaching, and immobilization of N from bovine excreta in tropical regions. Each of these processes is influenced by the characteristics of the excreta and by environmental factors after its deposition in the soil. There is also no information in the literature about the emission of greenhouse gases (GHG) and N losses from the excreta of animals that grazed on pasture mixed with grasses and forage legumes. For these reasons the objectives of this study were: to measure N<sub>2</sub>O emissions, ammonia (NH<sub>3</sub>) volatilization from feces and urine, and perform a urine N mass balance using the <sup>15</sup>N labeling technique. Excreta were collected from animals grazing on pastures mixed with *Urochloa brizantha* cv. Marandu with the legume *Macrotyloma axillare* cv. Java (Mixed) or Marandu grass in monoculture (Monoculture), under continuous stocking. An experiment was carried out with a randomized block design, with six replications, evaluating the types of diet (Mixed or Monoculture) in two seasons, Dry and Rainy, in a monoculture pasture of Marandu grass without animal access. The introduction of *M. axillare* did not contribute to the increase in GHG emissions from bovine excreta or in the fate of N in the urine compared to the Monoculture treatment. The climate affected the fate of N after deposition of excreta on the soil. The Rainy period compared to the Dry period increased the concentration of N in the urine at depths of 10-20 cm and there was greater recovery by Marandu grass at the edge of the chamber. This suggested that the Rainy period was more susceptible to N loss by leaching ~23%. While the Dry period there were greater losses due to ammonia volatilization, mainly from urine ~3.7%. Regardless of the time of year, the soil was the major destination of urine N, totaling approximately 54%. The immobilization of N in the urine by the soil and Marandu grass, associated with the low concentrations of N in the excreta, seen in this study, may be the cause of the low losses of N. The soil-plant system recovered 96.2% of the N from urine, as recorded in the Dry period and 75,54% in the Rainy period. The EF's were lower than the averages compiled by the IPCC. It is recommended, therefore, that further studies should be carried out to disaggregate FE<sub>N2O</sub> from bovine excreta by pasture quality in tropical climates.

**Keywords:** Bovine excreta. N fate. Labeled urine.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O N<sub>2</sub>O contribui substancialmente para a destruição do ozônio estratosférico (RAVISHANKARA; DANIEL; PORTMANN, 2009). Além disso, o N<sub>2</sub>O tem um papel muito importante no aquecimento da atmosfera. O potencial de aquecimento deste gás é 298 vezes maior do que o CO<sub>2</sub> e 12 vezes maior do que o metano (CH<sub>4</sub>) depois de um período de 100 anos. Estima-se que a concentração atmosférica de N<sub>2</sub>O pré-industrial era de 270 nL·L<sup>-1</sup>, alcançando em 2012 a concentração de 325 nL·L<sup>-1</sup> e aumenta a uma taxa anual de 0,8 nL·L<sup>-1</sup> desde a última década (HEIL; VEREECKEN; BRÜGGEMANN, 2016).

Bovinos de corte são pouco eficientes no uso do N e podem aproveitar apenas de 9% a 5% do N consumido em pastagens de *Urochloa humidicola* (BODDEY et al., 2004). Dessa forma, a maior parte do N consumido é excretado, e as fezes e urina dos bovinos apresentam uma elevada concentração de N. A dejeção de urina no solo pode conter na área urinada o equivalente a 500 - 1000 kg N·ha<sup>-1</sup>, quantidade bem superior à capacidade de absorção das plantas nas áreas que recebem a excreta (HAYNES; WILLIAMS, 1993).

A principal forma de N na urina é a ureia, que em contato com o solo é rapidamente convertida em amônia pela enzima urease. As fezes também têm um conteúdo significativo de N, mas a maioria está na forma de compostos orgânicos complexos que demoram a decompor e produzir formas minerais de N (WEERDEN et al., 2021). A amônia de qualquer forma de excreta pode ser convertida em nitrato pelo processo de nitrificação e, nesse processo, há alguma emissão de N<sub>2</sub>O. No entanto, se a chuva lixiviar o nitrato para o solo e o oxigênio se tornar limitado, o processo de desnitrificação pode se tornar significativo. Esse processo reduz o nitrato a N<sub>2</sub>O e daí a N<sub>2</sub> e geralmente é considerado a fonte mais importante de N<sub>2</sub>O dos solos (BUTTERBACH-BAHL et al., 2013). Os resultados de muitos estudos mostram que quando o espaço poroso cheio de água excede 60%, se o nitrato estiver presente e houver uma fonte de carbono para abastecer a respiração do solo, as emissões de N<sub>2</sub>O são favorecidas (OERTEL et al., 2016).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019) considera que as emissões de N<sub>2</sub>O de excretas ocorrem de maneira direta ou indireta. As formas indiretas são derivadas da emissão de NH<sub>3</sub> e do N lixiviado ou do escoamento superficial. As estimativas indiretas de N<sub>2</sub>O apresentam grande incerteza e podem promover grandes erros em inventários nacionais (LESSA et al., 2014), principalmente, pelo fato de que as estimativas produzidas para alimentar os bancos de dados são obtidas em poucos países de clima temperado (ZHU et al., 2021b). Nesses países e no caso de emissões das excretas bovinas com dietas distintas daquelas empregadas em países de clima tropical.

Presume-se que a deposição de excrementos de bovinos nas pastagens foi o principal emissor de N<sub>2</sub>O da agropecuária no Brasil em 2020, correspondendo a cerca de 50% das emissões. Estima-se que agropecuária emitiu cerca de 409 Gg de N<sub>2</sub>O, desse montante 173 Gg de N<sub>2</sub>O são de emissões diretas de N<sub>2</sub>O derivados das excretas bovinas, e 23,1 e 24,8 Gg de N<sub>2</sub>O são emissões indiretas, por deposição atmosférica e lixiviação, respectivamente (MCTI, 2022).

A introdução de leguminosa nas pastagens acarreta na alteração da dieta dos animais, que por sua vez influencia na partição do N entre urina e fezes e na composição do perfil do N nessas excretas. É escassa na literatura como o uso de leguminosas forrageiras tropicais nas dietas podem influenciar nas perdas de N e nas emissões GEE oriundas das excretas. Para a leguminosa *Macrotyloma axillare* não há dados na literatura a respeito das emissões de GEE derivado de excreta de bovinos que consumiram essa leguminosa. A época do ano também influencia sobre a qualidade do pasto e sobre a concentração de N excretado (HOMEM et al., 2021b).

Mais conhecimento é necessário a respeito das perdas, lixiviação, taxas de imobilização e mineralização do N da urina. A importância de cada um desses processos é influenciada pelas características da urina e por fatores ambientais após sua deposição no solo (SELBIE; BUCKTHOUGHT; SHEPHERD, 2015). Diante do exposto, os objetivos desse trabalho foram: quantificar as emissões de  $N_2O$ , volatilização de amônia ( $NH_3$ ) de fezes e urina e por meio da técnica de marcação por  $^{15}N$ , estimar a recuperação pelo capim Marandu e o N remanescente no solo e realizar o balanço N da urina. As excretas foram coletadas de bovinos que pastejaram em pasto de monocultura de capim Marandu ou consorciado com *M. axillare* na época Seca e das Águas e depositado artificialmente no solo.

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Experimento para quantificação de gases de efeito estufa de fezes e urina e balanço de massa do N da urina

O principal objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da dieta sobre o destino do N das excretas, para isso as mesmas foram coletadas no auge da Seca ou das Águas 2 (Item 4.4.2), que guardou relação direta sobre a qualidade nutricional da forragem consumida pelos animais. Os momentos de coletas coincidem com o momento de inflexão (isto é, transição) do padrão climático. Conseqüentemente, os cinco meses posteriores à coleta e instalação do experimento não refletiram ao padrão climático correspondente ao momento de sua coleta, portanto, para facilitar o entendimento, daqui por diante o experimento montado em 01 de setembro de 2021 e o em 01 de março de 2022 será denominado Águas e Seca, respectivamente. Ao longo das avaliações das emissões de N<sub>2</sub>O e volatilização de amônia, houve na época das Águas (01/09/2021 a 01/02/2022) a precipitação acumulada de 751 mm e na Seca (01/03/2022 a 01/08/2022), a precipitação acumulada de 271mm.

Neste experimento foram quantificadas as emissões de N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> e balanço de N de urina por meio da técnica de marcação por <sup>15</sup>N de excretas de animais que pastaram em pastagens de braquiária, *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster em monocultura e nas pastagens consorciadas de braquiária com *Macrotyloma axillare* (E. Mey.) Verdc.

O experimento foi conduzido em pasto de braquiária sem a presença dos animais. A descrição química e física do solo encontra-se na Tabela 10. Antes da montagem do experimento foram realizados cortes na forragem para manter a altura do pasto em 30 cm. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 2 + 1 tratamento controle e seis repetições. Os fatores foram: manejo da origem da excreta (monocultura e consorcio); excreta (fezes e urina); e o controle (sem adição de excreta). Devido à ausência de diferença entre a concentração de N das excretas (

Tabela 8) entre o tratamento N-Fert e o Controle, as excretas dos dois tratamentos foram consideradas apenas como Monocultura para esse experimento. No experimento da Seca (01/03/2022) foi adicionado um tratamento sem adição de excreta e com adição de ureia na dose de 5 g m<sup>-2</sup> equivalente a uma parcela de adubação na dose de 50 kg N·ha<sup>-1</sup> para auxiliar como parâmetro de perdas para o experimento do Item 4.4.2, esse tratamento não foi adicionado na estatística.



**Tabela 10.** Descrição dos atributos químicos e físicos do solo do experimento de gases e balanço de N da urina.

Profundidade cm	Al	Ca	H+Al	Mg	K	P	pH	C	N	Densidade	Argila	Areia	Silte
	----- cmolc·dm <sup>-3</sup> -----			mg·dm <sup>-3</sup>				%	g·cm <sup>-3</sup>	----- % -----			
0-10	0,09	1,56	3,46	0,96	43,13	5,75	5,31	1,68	0,11	1,51	15,5	70,5	14,0
10-20	0,30	1,52	3,56	0,74	25,02	3,96	5,16	1,15	0,09	1,65	19,0	67,0	14,0
20-30	0,40	1,28	3,96	0,40	19,24	2,80	5,00	0,89	0,07	1,71	-	-	-
30-40	0,67	1,04	4,78	0,30	14,68	2,53	4,84	0,84	0,07	1,70	-	-	-

Análises foram conduzidas seguindo as técnicas padrão da Embrapa (CLAESSEN et al., 1997).

#### 4.4.2 Coleta e armazenamento das excretas

Após período de adaptação dos animais nos piquetes de cada dieta, no experimento das Águas 2, no dia 24 de agosto de 2021, e da Seca em 23 de fevereiro de 2022, excrementos frescos de animais de cada tratamento foram recolhidos no curral e armazenados no mesmo dia. Para o armazenamento a urina foi acondicionada no freezer (-20°C) e as fezes na geladeira (5°C). A concentração do N nas excretas foi realizada conforme o Item 0.

#### 4.4.3 Quantificação das Emissões de N<sub>2</sub>O

Para a avaliação das emissões de N<sub>2</sub>O foram depositados na câmara 1 L de urina ou 1 kg de fezes frescas. As aplicações dos excrementos ocorreram nos dias 01/09/2021 e 01/03/2022 no experimento das Águas e da Seca, respectivamente. A placa fecal foi moldada com auxílio de um molde de 0,049 m<sup>2</sup> de diâmetro e 0,04 m de altura. No tratamento controle com ureia, no mesmo dia da aplicação das excretas, foram adicionados 3,35 g do adubo por câmara, equivalente a 50 kg N·ha<sup>-1</sup>. Cada parcela experimental contou com uma câmara fechada, de dimensões de 0,46 x 0,67 m. A parte móvel da câmara de 0,25 m de altura foi revestida com espuma e isolante térmico. Cada câmara teve sua base instalada previamente. A base é uma caixa vazada da mesma dimensão da câmara, e com encaixe para a câmara em forma de calha, de forma que fique vedada com adição de água. A base foi inserida no solo a oito cm de profundidade, permanecendo no mesmo local até o fim da avaliação.

As amostragens foram realizadas no período da manhã, entorno das 9 horas, onde é mais provável encontrar as emissões médias do dia (ALVES et al., 2012). Durante o período de incubação de 60 minutos foi recolhida uma amostra a cada 20 minutos (tempos 0, 20, 40 e 60 minutos após o fechamento da câmara) para estimar o fluxo de N<sub>2</sub>O.

As amostragens de N<sub>2</sub>O foram diárias durante 15 dias. A partir de então foram coletadas a cada três dias por mais 15 dias, posteriormente semanalmente até que não se percebeu mais diferença significativa entre os fluxos dos tratamentos. Em caso de chuva foram realizadas coletas durante três dias seguidos após cada evento de chuva.

As amostras de gás foram coletadas com seringas de polipropileno de 60mL, e em seguidas transferidas para frascos de cromatografia de 20 mL, vedadas com vácuo de 93,3 Pa. A concentração de N<sub>2</sub>O das amostras foi quantificada por cromatografia de gás, na Embrapa Agrobiologia (ALVES et al., 2012). Para cálculo do fluxo de N-N<sub>2</sub>O foi adotado a seguinte fórmula:

$$f = (dC dt^{-1})(VA^{-1})(M Vm^{-1})(273(273 + T)^{-1})$$

Onde f é o fluxo em µg N<sub>2</sub>O-N·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>; dC é a mudança na concentração do gás durante o período de incubação em µL·L<sup>-1</sup>; dt é o tempo de incubação em horas; V é o volume da câmara em L; A, é área de solo coberto pela câmara em m<sup>2</sup>; M é a massa molecular de N em N<sub>2</sub>O=14 (g·mol<sup>-1</sup>); Vm é o volume molecular em condições normais de pressão e temperatura (CNTP) em L·mol<sup>-1</sup>; T é a temperatura interna da câmara em graus Celsius.

Para determinar a emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O no período da avaliação, foi calculado o somatório das emissões de cada intervalo de coletas que ocorreram em sequência. A emissão durante o intervalo entre coletas foi determinada pelo método da área do trapézio, que consiste no produto do fluxo médio de N-N<sub>2</sub>O entre as duas coletas e o intervalo de tempo entre essas coletas. O cálculo dos fatores de emissão (FE), é a razão da diferença entre a emissão de N-N<sub>2</sub>O acumulado dos tratamentos que receberam as fontes de N da emissão basal (tratamento Controle), sobre a massa de N aplicado nas parcelas que receberam fonte de N (fórmula no Item 0).

#### 4.4.4 Volatilização de Amônia

A quantificação da volatilização de amônia foi realizada com sistema de câmara estática conforme descrito por Araújo et al. (2009). Esta câmara é composta por uma garrafa PET transparente, de 2 L, com a base cortada. A base da câmara tem 0,008m<sup>2</sup>. Uma lâmina de polietileno de 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, suspensa no interior câmara e com a sua base imersa em 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,0 mol·dm<sup>-3</sup> + glicerina 2% (v/v) foi utilizada para capturar o NH<sub>3</sub> emitido do solo dos diferentes tratamentos. Um desenho da câmara encontra-se no trabalho de (JANTALIA et al., 2012).

Para aplicar o tratamento com urina, foi feito um anel úmido com água exterior à base da câmara. O molde externo para verter a água continha 0,26 m de diâmetro e o molde interno da câmara que recebeu a urina de 0,1 m de diâmetro. Um volume de 0,033 L de urina foi vertido na área da base da câmara. Para reduzir o efeito da câmara sobre o solo, esse mesmo volume foi aplicado em três lugares diferentes de cada tratamento, onde a câmara era reposicionada. No tratamento com fezes foram depositadas 1 kg de fezes. A câmara foi reposicionada dentro da própria placa fecal. Mudanças de posição da câmara ocorreram em virtude de chuvas. A aplicação do tratamento controle com ureia foi em uma área de 0,25 x 0,30 m, e nessa área foram aplicados 0,815 g de ureia.

As câmaras para determinar a volatilização de amônia foram inseridas na área adjacente à câmara de coleta de N<sub>2</sub>O. As lâminas de espuma contendo a amônia volatilizada foram coletadas concomitantemente com as coletas de N<sub>2</sub>O até 30 dias após o início do experimento, posteriormente a isso semanalmente até completar 60 dias de experimento. O conteúdo da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e a espuma foram transferidos para Erlenmeyer de 125 mL, e quantificado pela massa. Posteriormente, para remover a solução impregnada na espuma foram adicionados 40 mL de água destilada em cada Erlenmeyer e transferido para um agitador horizontal à 220 RPM por 30 minutos. A seguir uma alíquota de 10 mL foi analisada por destilação a vapor e posterior titulação para quantificar o N amoniacal. A emissão foi corrigida por um fator 1,74, que corrige o NH<sub>3</sub> não capturado pela câmara (MARTINS et al., 2021).

#### 4.4.5 Marcação da Urina com Ureia Enriquecida com <sup>15</sup>N

A urina vertida para quantificar o N<sub>2</sub>O foi marcada com ureia enriquecida. A marcação da ureia foi de 10% de átomos de <sup>15</sup>N. Conforme a concentração de N na urina foi adicionada ureia marcada no nível correspondente a 20% do N total, para isso foi adicionado 0,6661 g ureia·L<sup>-1</sup> para o tratamento monocultura e 0,3908 g ureia·L<sup>-1</sup> para o consórcio no experimento da Seca, e 0,8954 g ureia·L<sup>-1</sup> para o tratamento monocultura e 0,7486 g ureia·L<sup>-1</sup> para o consórcio no experimento das Águas. A ureia marcada foi diluída em 1 L de urina em cada parcela da aplicação de N<sub>2</sub>O. No total, isto é, N-ureia+N-urina, foram aplicados o equivalente a 71,95 e 42,21 kg N·ha<sup>-1</sup> para monocultura e consórcio, respectivamente no experimento das Águas e 77,78 e 65,56 kg N·ha<sup>-1</sup> para monocultura e consórcio, respectivamente, no experimento da Seca.

Foram realizadas três coletas da parte aérea do capim Marandu dentro de cada base a nível do solo para estimar a recuperação do N derivado da urina (LESSA et al., 2014). No último corte de cada experimento também foi coletada a massa do capim Marandu até 20 cm da borda da câmara. As coletas no experimento das Águas foram em 08/10/2021, 16/11/2021 e 01/02/2022 e no experimento da Seca em 04/04/2022, 10/05/2022 e 31/07/2022. As amostras foram secas por 72 horas a 65°C e moídas em moído de facas a 1 mm.

Ao fim de cada experimento foram coletadas a liteira no interior de cada base da câmara. O solo no interior de cada base foi totalmente removido nas camadas de 0-10 e 10-20 cm no experimento das épocas de Seca e Águas. A amostra total de terra foi pesada e peneirada para

separar solo de raiz. A separação do solo das raízes foi realizada com peneira de 2 mm e catação manual. Foi determinado a matéria orgânica (MO) das raízes e da liteira (Item 0). No experimento das Águas foram coletadas amostras qualitativas de solo e raiz, a partir de 20 cm de profundidade, a cada 10 cm, até 40 cm de profundidade. A densidade do solo foi amostrada em cada profundidade com anel de Kopeck com volume de 79,5 cm<sup>3</sup>. As amostras de raiz, tal qual as amostras da parte aérea e liteira foram secas a 65 °C por 72 horas e moídas em moinho de faca a 1 mm.

As amostras de solo e planta foram finamente moídas em moinho de rolos (ARNOLD; SCHEPERS, 2004) para análise de N e  $\delta^{15}\text{N}$  em espectrômetro de massa conforme o Item 0. O N da urina recuperado pelas plantas e o remanescente no solo foi determinado pela seguinte Equação 5:

$$\%Rur = \frac{(\% \text{ } 15N_{xst} \times M \times N)}{\% \text{ } 15N_{xsU} \times U_N} \quad (5)$$

Onde:  $15N_{xst}$  é % de átomos de  $15N$  em excesso,  $M$  é a massa seca de solo ou da planta,  $N$  é a fração de nitrogênio (%) da planta ou do solo;  $\% \text{ } 15N_{xsU}$  é a % de átomos de  $15N$  em excesso na urina marcada e  $U_N$  é o total de N aplicado via urina marcada.

O C e N da parte aérea dos demais tratamentos foram analisados no analisador elementar CN (Vario MACRO Cube) no laboratório da Embrapa Agrobiologia.

Para o balanço de massa de N foi excluído o  $\text{FE}\%_{\text{N}_2\text{O}}$  por ter sido menor de 0,01%, o único gás adicionado a soma total do destino do N foi o  $\text{NH}_3$ , que se trata do principal gás de perda de N (CAI; AKIYAMA, 2016). O N não recuperado foi considerado perda por lixiviação. Veja mais discussão no Item 0.

#### 4.4.6 Resultados auxiliares: N-mineral, temperatura do solo e espaço poroso ocupado por águas

Foram realizadas amostragens de solo em três blocos e para determinação das formas minerais do N no solo, isto é, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), após 60 dias instalados os experimentos. As amostras foram analisadas por espectrofotometria conforme Campos et al. (2017). Foram aplicadas 0,333 mL de urina em uma base de ferro de 0,25 x 0,30 m para coleta de solo para análise de N-mineral. No controle adubado, nessa mesma área foram aplicados 0,815 g de ureia. Nos tratamentos com fezes foram aplicadas uma placa fecal de um kg de fezes, as amostras foram coletas pelas bordas e abaixo das placas fecais. Coletada as amostras de 30 g de solo, elas foram imediatamente resfriadas levadas para laboratório e então congeladas a -20 °C.

A temperatura do solo e a umidade foram tomadas a cada evento de coleta de gás para análise de  $\text{N}_2\text{O}$  e/ou  $\text{NH}_3$ . A temperatura do solo foi medida com auxílio de um termômetro digital inseridas a cerca de 10 cm de solo. Três amostras superficiais de solo (0-5 cm) foram coletadas para determinar a umidade. As amostras foram secas em estufa a 105°C. Em posse da densidade superficial do solo (Item 0) foi estimada o espaço poroso ocupado por água (WFPS, sigla em inglês) conforme as Equações 6, 7 e 8, respectivamente, a seguir:

$$\theta v(\%) = \theta g \times Bd \quad (6)$$

$$TP(\%) = \left(1 - \frac{Bd}{Pd}\right) \times 100 \quad (7)$$

$$WFPS(\%) = \left( \frac{\theta v}{TP} \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:  $\theta v$  é o conteúdo volumétrico de água no solo em (%);  $\theta g$  o conteúdo gravimétrico de água no solo (%);  $Bd$  é densidade do solo em  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;  $Pd$  é a densidade da partícula, neste caso considerada  $2,65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;  $TP$  porosidade total do solo em %;  $WFPS$  é o espaço poroso ocupado com água em %.

#### **4.4.7 Análise estatística**

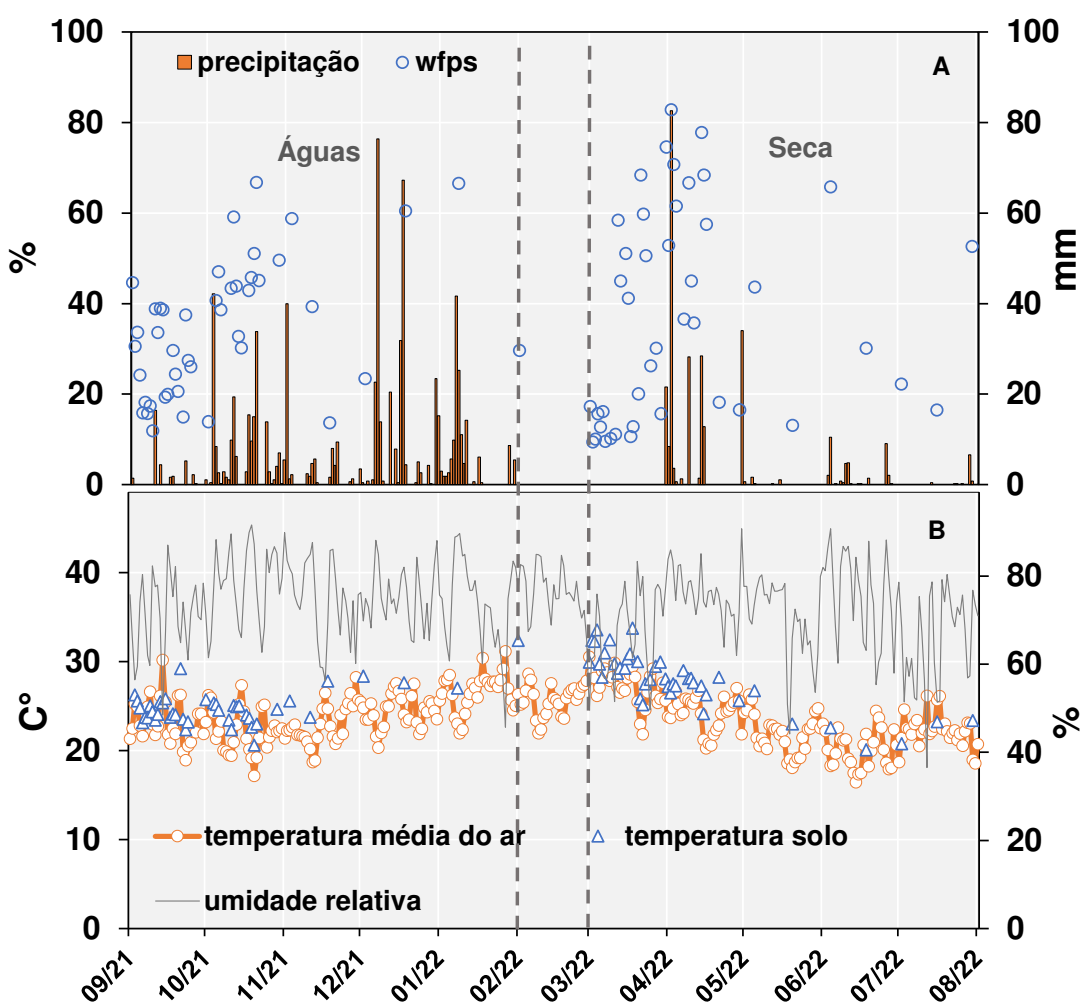
O desenho experimental adotado foi o delineamento de blocos ao acaso com cinco fontes de N (Urina do tratamento de consórcio e da monocultura, fezes do tratamento de consórcio e monocultura, e controle), com seis repetições e medidas repetidas no tempo (épocas do ano). Para a análise de recuperação da urina foi considerado apenas dois tratamentos, o tipo de dieta (monocultura e consórcio). A análise estatística foi conduzida conforme o Item 0.

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1 Experimento de avaliação de gases de efeito estufa e balanço de N

A temperatura média do ar foi de 23,9 °C e 23,1 °C, máximas de 39 °C e 37,4 °C e mínimas 12,8 °C e 11 °C para o experimento da Águas e Seca, respectivamente (

Figura 10). Enquanto que temperatura média do solo foi 24,8 °C e 27,9 °C, para o experimento das Águas e Seca, respectivamente. Para as épocas das Águas e Seca, a precipitação acumulada durante o estudo foi de 751mm e 271mm, a precipitação acumulada 30 dias após a aplicação dos tratamentos foi de 18 e 0 mm, as médias diárias da umidade relativa do ar foi de 74,7 % e 71,0 %, o espaço poroso ocupado com água médio foi de 34,6 % e 37,5 %, com máximas de 66,7% e 82,8%, respectivamente.



**Figura 10.** Dados climáticos durante os experimentos da Seca (01/03/2022 – 31/07/2022) e das Águas (01/09/2021-28/02/2022). Linha tracejada separa os experimentos, intervalo entre as linhas tracejadas não houve avaliação. A) precipitação em mm e espaço poroso preenchido por água (WFPS, sigla em inglês, em %). B) Umidade relativa do ar em %, temperatura média de do ar e do solo em °C. Os dados da precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar foram obtidas da estação climática automática Ecologia do INMET, cerca de um km do experimento.

#### 4.5.2 Caracterização das excretas

A concentração de N na urina desse estudo foram de 1,15 a 2,4 g·L<sup>-1</sup> com taxas de aplicação de 3,69 a 7,74 g·N·m<sup>-2</sup> para a épocas das Águas das Seca, respectivamente (Tabela 11). Na literatura, a concentração de N na urina varia de 1 a 20 g N·L<sup>-1</sup> e a taxa de excreção de nitrogênio de uma micção por área de ruminantes varia de pouco menos de 20 g N·m<sup>-2</sup> a mais de 200 g N·m<sup>-2</sup> (SELBIE; BUCKTHOUGHT; SHEPHERD, 2015). Para placas fecais (manipuladas para experimentação) a concentração varia de 1,86 g N·kg<sup>-1</sup> a 26,6 g N·kg<sup>-1</sup> (ALMEIDA et al., 2020; TULLY et al., 2017) e taxas de aplicação de 8,2 g N m<sup>-2</sup> a 130 g N m<sup>-2</sup> (MAZZETTO et al., 2014; ZHU et al., 2021b). Nota-se então uma baixa concentração e taxa de aplicação de N neste estudo (Tabela 11). Baixas doses de N são vistas principalmente em pecuária a pasto em regiões tropicais onde as dietas fornecem o mínimo da energia metabólica ou abaixo da requerida, como nos períodos secos (ZHU et al., 2021b).

**Tabela 11.** Descrição da urina de animais que pastejaram capim Marandu em Monocultura ou no Consorciado com *M. axillare* na época da Seca e das Águas.

Dieta	Época do ano					
	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca
	g N·L <sup>-1</sup>		g N·m <sup>-2</sup>		% <sup>15</sup> N em excesso	
Monocultura	1,576	2,412	5,06	7,74	1,877	1,645
Consórcio	1,150	2,017	3,69	6,47	1,504	1,645

Notas: Valores para do tratamento Urina, com a urina marcada com 20% da concentração de N, usando ureia marcada com 10% átomos de <sup>15</sup>N;

**Tabela 12.** Descrição das fezes de animais que pastejaram capim Marandu em Monocultura ou no Consorciado com *M. axillare* na época da Seca e das Águas.

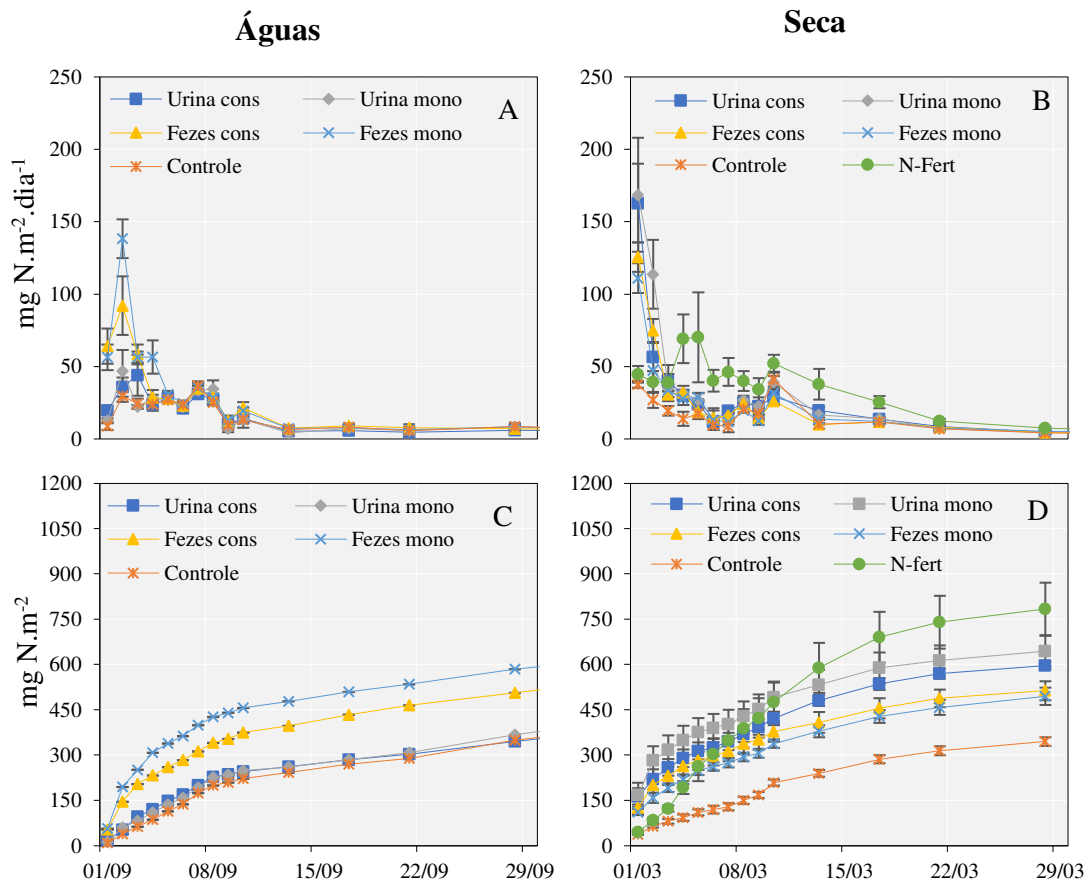
Dieta	Época do ano									
	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca
	g N·kg <sup>-1</sup>		g N·m <sup>-2</sup>		MS (%)		δ <sup>13</sup> C (‰)		Leg (%)	
Monocultura	2,150	2,435	6,90	7,82	18,43	16,60	-	-	-	-
Consórcio	1,803	2,319	5,79	7,44	15,01	15,84	-14,85	-	14,06	14,58

Notas: Concentração de N com base em matéria seca; aplicado 1,0 kg de fezes frescas; Proporção de leguminosa nas fezes calculada com δ<sup>13</sup>C de -12,63‰ e -27,82‰ para Marandu e *M. axillare*, respectivamente; abreviações: Leg (%) proporção de *M. axillare* nas fezes, massa seca (MS).

#### 4.5.3 Volatilização de amônia, N<sub>2</sub>O e N-mineral

A volatilização diária de NH<sub>3</sub> foi mais intensa na primeira semana após a aplicação das fontes de N em ambos os experimentos, exceto para o tratamento fertilizado com N-ureia na dose 50 kg·ha<sup>-1</sup> (N-fert) no experimento da época da Seca, que se prolongou até os 30 dias após a aplicação onde alcançou a emissão basal (Figura 11). A volatilização diária média de N-NH<sub>3</sub> por m<sup>2</sup> nas duas EA foi de (média±erro padrão da média) 25,8±4,7, 27,9±1,2, 16,5±1,9 mgN-NH<sub>3</sub>·m<sup>-2</sup>·dia<sup>-1</sup> para urina, fezes e controle, respectivamente (Figura 11 A e B). O tratamento N-fert apresentou média de 37,6±5 mgN-NH<sub>3</sub>·m<sup>-2</sup>·dia<sup>-1</sup> no período da Seca (Figura 11 B).

A volatilização média de N-NH<sub>3</sub> acumulada por m<sup>2</sup> durante os primeiros 30 dias após a aplicação da urina nas duas EA foram de 576±60,4, 578±26,43 e 394±24,4 mgN-NH<sub>3</sub>·m<sup>-2</sup> para os tratamentos com urina, fezes e controle, respectivamente (Figura 11 C e D). O N-fert apresentou média de 814±84 mgN-NH<sub>3</sub>·m<sup>-2</sup> no período da Seca (Figura 11D).

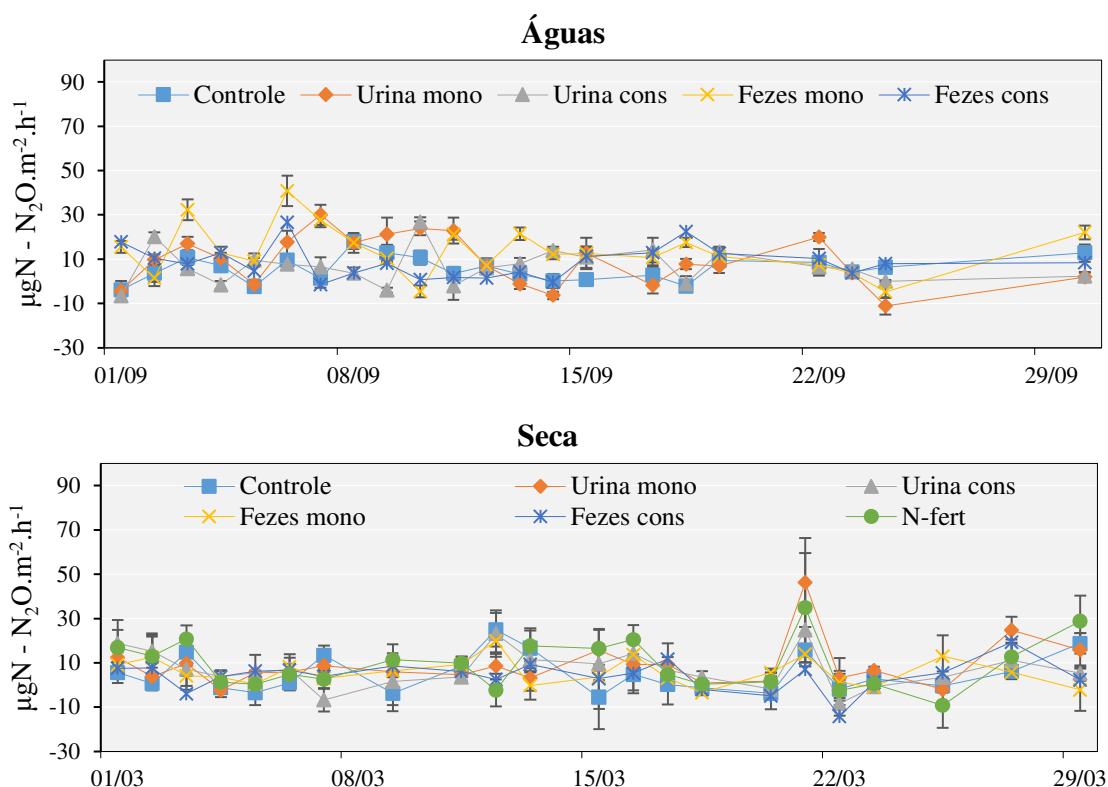


**Figura 11.** Volatilização diária de N-NH<sub>3</sub> (A e B) e volatilização acumulada de N-NH<sub>3</sub> (C e D) de fezes e urina de bovinos que pastejaram Marandu em monocultura (Fezes mono e Urina mono), ou de Marandu em consórcio com *M axillare* (Urina cons e Fezes cons), capim Maradu com fertilização com 50 kg N-ureia (N-fert) e sem adição de fonte de N (Controle) nos primeiros 30 dias do experimento. As barras verticais correspondem erro padrão da média (n=6).

O fluxo de N<sub>2</sub>O foi próximo ao basal em ambos os experimentos. Não foi observado um pico de emissão proeminente, exceto um suave pico para o experimento da Seca, 21 dias após a aplicação, onde foi registrada precipitação mais intensa, que elevou o WFPS de 20% para 68%. O fluxo médio de N-N<sub>2</sub>O na época da Seca foi de 9,32±2,37, 13,92±2,35, 5,68±1,20 µgN-N<sub>2</sub>O·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> para Urina mono, Fezes mono e Controle, respectivamente. Na época das Águas a urina e fezes do consórcio apresentaram mesmo fluxo médio de N-N<sub>2</sub>O, 6,66±1,6 µgN-N<sub>2</sub>O·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. Na época da Seca o fluxo médio N-N<sub>2</sub>O foi de 10,16±0,89, 7,61±0,68, 5,48±0,73, 4,74±0,94, 5,62±0,64, 9,23±1,06 µgN-N<sub>2</sub>O·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> para Urina mono, Urina cons, Fezes mono, Fezes cons, Controle e N-fert, respectivamente (

Figura 12).





**Figura 12.** Fluxo de  $N_2O$  em  $\mu\text{gN-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  de fezes e urina de bovinos que pastejaram Marandu em monocultura (Fezes mono e Urina mono), ou de Marandu em consórcio com *M axillare* (Urina cons e Fezes cons), capim Marandu com fertilização com 50 kg N-ureia (N-fert) e sem adição de fonte de N (Controle) nos primeiros 30 dias do experimento. As barras verticais correspondem erro padrão da média (n=6).

A emissão acumulada de  $N-N_2O$  nos 30 dias após a aplicação da excreta na época Seca foi de  $6,70\pm 0,29$ ,  $5,32\pm 0,52$ ,  $9,33\pm 0,52$ ,  $6,69\pm 0,26$ ,  $5,32\pm 0,58$   $\text{mgN-N}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}$ , para Urina mono, Urina cons, Fezes mono, Fezes cons e Controle, respectivamente. Enquanto que na época das Águas, a emissão acumulada de  $N-N_2O$  nos 30 dias de experimento foi de  $7,63\pm 0,17$ ,  $5,67\pm 0,66$ ,  $5,04\pm 1,03$ ,  $5,04\pm 0,66$ ,  $5,24\pm 0,36$ ,  $7,38\pm 0,68$  para Urina mono, Urina cons, Fezes mono, Fezes cons, Controle e N-fert, respectivamente.

Os  $FE_{N_2O}\%$  não diferiram entre excretas de origem da monocultura ou consórcio ou época do ano, também não houve interação entre as os fatores em estudo (Tabela 13). Na média, o  $FE_{N_2O}\%$  para urina foi de 0,016% e para fezes de 0,019%, valor 48 e 7 vezes menor do que a média indicada pelo IPCC (2019) para urina e fezes, respectivamente, a saber, 0,77% (0,03-3,8% intervalo de confiança [IC]) para urina e 0,13% (0,0-0,5% IC) para fezes. Para o tratamento de capim Marandu fertilizado com ureia o  $FE_{N_2O}\%$  foi de 0,01%. O  $FE_{N_2O}\%$  para fertilizantes sintéticos de referência proposto pelo IPCC (2019) é de 1,6% (1,3-1,9), dessa forma o  $FE_{N_2O}\%$  verificado nesse estudo para ureia é 160 vezes menor que o padrão IPCC. Somente as fezes ficaram dentro do intervalo de confiança.

Alguns trabalhos produzidos em regiões tropicais verificaram  $FE_{N_2O}\%$  abaixo 0,01% para excreta bovina (urina e fezes). Muitos fatores podem justificar a baixa emissão, entre elas pode-se citar: propriedades da urina, comunidade de plantas, características do solo, o clima no momento da aplicação (ZHU et al., 2021b), pouca chuva após a aplicação (DURANGO MORALES et al., 2021) e experimento de curto prazo (BYRNES et al., 2017). Nesse estudo, a baixa precipitação nos primeiros 30 dias após a aplicação das fontes de N (34,2 e 0 mm, para período das Águas e Seca, respectivamente) e consequente o baixo WFPS( 27% médio dos dois

experimentos) podem ter influenciado na emissão do  $N_2O$ , além da baixa concentração de N. Ademais, como será discutido a seguir, o experimento de balanço da urina marcada, demonstrou que há uma grande imobilização de N pelo solo e pela braquiária, reduzindo substancialmente o N disponível para ser emitido como  $N_2O$  ou volatilização de amônia.

O fator de emissão da emissão de amônia ( $FE_{NH_3}$  %) apresentou diferença estatística para a fonte de N ( $p < 0,0001$ ), EA ( $p < 0,0001$ ) e houve interação entre os fatores ( $p < 0,0001$ , Tabela 13,

Figura 13). A urina apresentou média de  $FE_{NH_3}$  % de 1,9% e as fezes apresentaram média de 0,068%.

O principal componente da urina é ureia, que participa com 50-90% do N total da urina (DIJKSTRA et al., 2013; GARDINER et al., 2016). A ureia é rapidamente hidrolisada e a amônia liberada é passível de volatilização, enquanto o N das fezes é mais recalcitrante. Ademais, as fezes após secas formam uma crosta hidrofóbica, que dificulta a decomposição e a mineralização, além de retardar a difusão no  $NH_3$  para a atmosfera (MULVANEY et al., 2008).

A volatilização de amônia foi menor na época Águas comparado com a registrada na época da Seca ( $p < 0,0001$ ), corroborando com outros estudos (BRETAS et al., 2020; CARDOSO et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2022). A umidade do solo contribuiu para incorporação do N no solo (CARDOSO et al., 2019) e conseqüentemente na redução da volatilização de amônia na época das Águas. Visto que, ocorreram leves precipitações durante a instalação do experimento da época das Águas, 10 mm nos 3 dias anteriores e 22 mm acumulados nos 12 dias após a aplicação das fontes de N. Na época da Seca não houve precipitação nos primeiros 12 dias após aplicação da fonte de N. A diferença entre épocas do ano é vista principalmente nos tratamentos Urina (

Figura 13). As perdas de urina por  $N_2O$  e  $NH_3$  são mais afetadas pelas estações do ano do que as fezes que mostraram valores mais estáveis (GUIMARÃES et al., 2022).

Segundo o IPCC (2019), para estimar a volatilização de amônia, considerada emissões indiretas de  $N_2O$ , não é desagregada excreta depositada no campo, esterco ou chorume de curral, assumindo volatilização média de 19,7%. O  $FE_{NH_3}$  de urina de dados publicados no Brasil variam consideravelmente, de 23,6 a 1,7%, com média de  $11,3 \pm 2,11\%$ . Quanto às fezes, há menos incerteza, variando de 7,2% a 0,99%, com média de  $3,16 \pm 0,65\%$  (BRETAS et al., 2020; CARDOSO et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2022; LESSA et al., 2014; LONGHINI et al., 2020). Compilados de dados registram médias de 8,76% para fezes e urina, sem distinção por excreta (CAI; AKIYAMA, 2016). O  $FE_{NH_3}$  da ureia (0,9%) foi 17 vezes menor do que a emissão padrão proposto pelo IPCC (2019) e fora do intervalo de confiança 15% (3-43%). O baixo  $FE_{NH_3}$  para as fontes de N, visto nesse estudo, quando confrontado com a literatura pode ser justificado pela baixa concentração de N das fontes aplicadas e pelo baixo pH do solo ( $pH=5,3$  nos primeiros 10 cm, chegando a menos de 5 em profundidade; Tabela 10).

A respeito da concentração de N na fonte aplicada, a volatilização de amônia aumenta proporcionalmente com crescentes doses de N aplicados, por ser uma reação de primeira ordem, ou seja, que aumenta velocidade de reação à medida que aumenta a concentração do reagente (DA CRUZ CORRÊA et al., 2021). A ureia ao entrar em contato com o solo, na presença de umidade, é rapidamente hidrolisada pela enzima urease. A urease aumenta sua atividade conforme aumenta a disponibilidade de substrato, até a sua atividade se tornar constante. Outros fatores como temperatura mais elevada, também aumenta sua atividade (DHARMAKEERTHI; THENABADU, 1996). Nesse sentido, a maior taxa de aplicação de N na época da Seca em relação a Águas, especialmente para urina,  $7,1 \text{ g m}^{-2}$  e  $4,4 \text{ g m}^{-2}$ , respectivamente, associada a maiores temperaturas, pode ter favorecido maiores perdas por volatilização nesse período. O parcelamento da adubação em três aplicações em vez de uma dose única de  $138 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , pode ter reduzido o  $FE_{N_2O}$  da ureia. O parcelamento em três aplicações de ureia para o capim

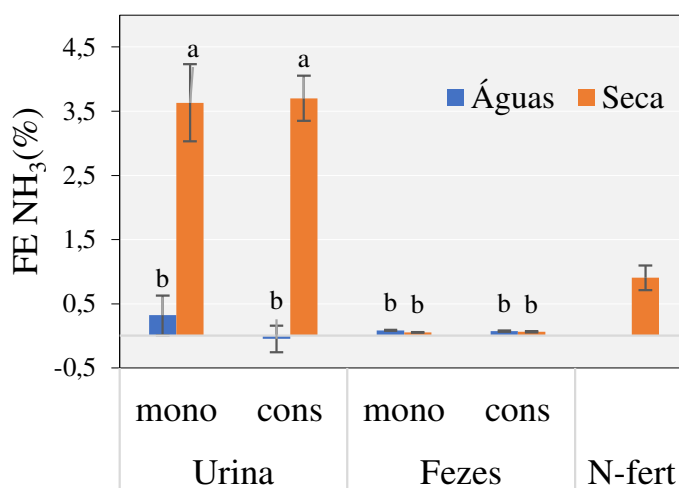
Marandu reduziu em cerca 50% o  $FE\%_{NH_3}$  da ureia em relação a dose única, de 27,62% para 13,76%, com aplicação média de  $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (DA CRUZ CORRÊA et al., 2021)

Atributos do solo como pH e capacidade de troca catiônica (CTC) podem influenciar nas perdas por volatilização de amônia (ZHENGHU; HONGLANG, 2000). O pH baixo mantém o  $NH_4^+$  estável e menos susceptível a se converter a  $NH_3$  e levar a perdas por volatilização de amônia (FENN; HOSSNER, 1985). O  $FE\%_{NH_3}$  para ureia encontrado nesse estudo (0,905%) foi muito próximo do encontrado em um outro estudo de adubação com ureia, 0,77% (LIU et al., 2019). O solo do estudo em questão era um solo de caráter ácido e de alta CTC (20,4 cmol/kg), foi utilizado  $112 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  de ureia na cultura do trigo.

**Tabela 13.** Fator de emissão de N-NH<sub>3</sub> (FENH<sub>3</sub> %) de excretas de bovinos que pastaram capim Marandu em monocultura ou capim Marandu em consórcio com *M. axillare*, e fertilização com 50 kg de N-ureia na época Seca e das Águas.

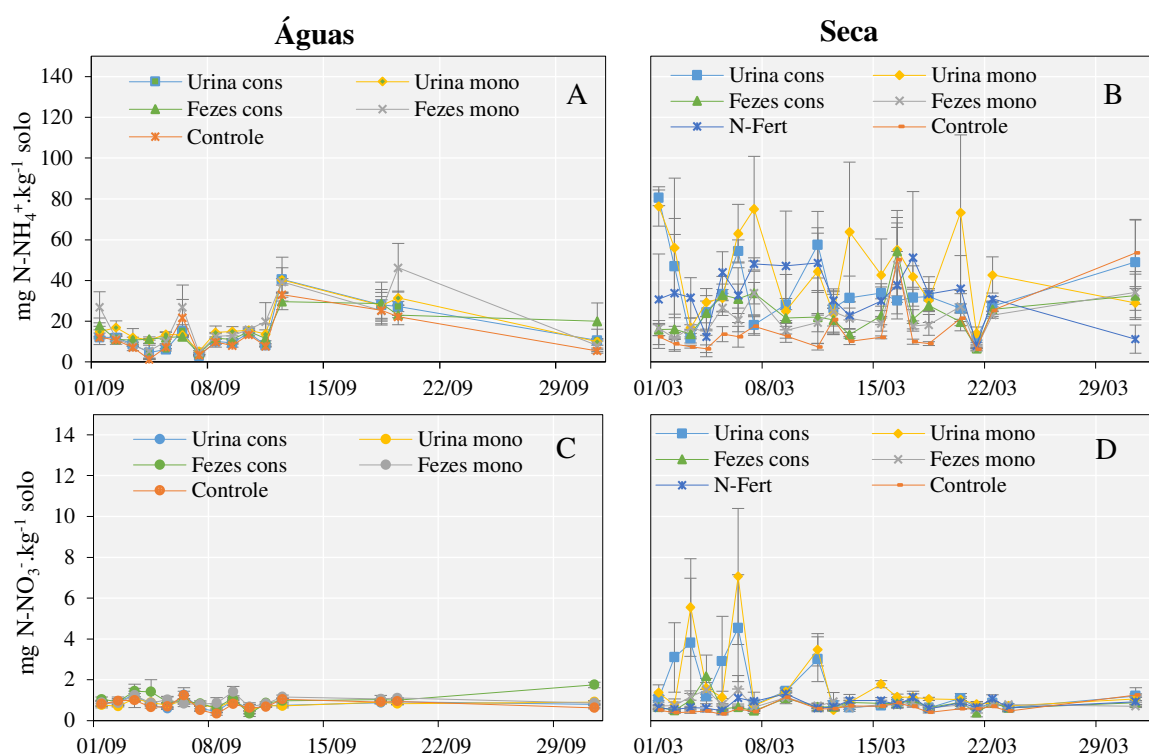
Variável	Fonte de N (FN)										
	Urina		Fezes		N-fert	Época do ano (EA)			p-valor		
	Mono	Cons	Mono	Cons		Águas	Seca	EPM	FN	EA	FN*EA
FE <sub>N2O</sub> , %	0,029	0,003	0,027	0,010	0,010	0,014	0,010	0,010	0,25	0,093	0,131
FE <sub>NH3</sub> , %	1,975a	1,838a	0,068b	0,068b	0,905	0,107b	1,862a	0,158	<,0001	<,0001	<,0001

Notas: O tratamento fertilizado com N-Fert foi conduzido apenas no experimento da Seca e não foi incluído na estatística; nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD; abreviações: Erro padrão da média (EPM); Monocultura (mono); Consórcio (Cons); fertilização nitrogenada com 50kg N-ureia (N-Fert).



**Figura 13.** Fator de emissão de N-NH<sub>3</sub> (FEN-NH<sub>3</sub> %) de excretas de bovinos que pastaram capim Marandu em monocultura (mono) ou Marandu em consórcio com *M. axillare* (cons), e fertilização com 50 kg de N-ureia (N-fert) na época Seca e das Águas. Desdobramento da interação entre a época do ano e fonte de nitrogênio para os FENH<sub>3</sub>. O tratamento fertilizado (N-Fert) foi conduzido apenas no experimento das Seca e não foi incluído na estatística. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD. Barras verticais representam o erro padrão da média (EPM).

Há uma relação positiva entre o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> disponível no solo e a volatilização de amônia (BRETAS et al., 2020). Portanto, a maior volatilização de amônia da urina na época das Seca corrobora com o resultado do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> disponível no solo nos primeiros 30 dias do experimento (Figura 14). Para o tratamento urina da monocultura a média do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> da época da Seca foi cerca de duas vezes maior em relação as Águas, 42,2±4,64 e 20,43±4,03 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N·kg solo<sup>-1</sup>, respectivamente. A média do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo que recebeu a urina do consórcio foi de 33,15±3,91 e 17,77±4,43 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N·kg solo<sup>-1</sup>, para época da Seca e Águas, respectivamente. O mesmo foi observado para o nitrato N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sendo cerca de duas vezes mais NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no período da Seca em relação as Águas para a Urina da monocultura, 1,66±0,37 e 0,82±0,04 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N·kg solo<sup>-1</sup>, respectivamente, e 1,50±0,26 e 0,83±0,06 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N·kg solo<sup>-1</sup> para a Urina do consórcio, na época das Seca e Águas, respectivamente. Apesar de ter sido observado maior concentração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo na primeira semana do experimento das Seca, não houve pico de emissão de N-N<sub>2</sub>O. Portanto, as condições para a desnitrificação não foram favoráveis e o nitrato deve ter entrado em vias de imobilização. No experimento das Águas as formas de N-mineral apresentaram concentrações similares e mesma dinâmica no tempo, independente do tratamento.



**Figura 14.** Concentração de Amônio ( $\text{NH}_4^+$ , A e B) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ , C e D) no solo ( $\sim 0\text{-}5\text{ cm}$ ) nos primeiros 30 dias após a aplicação de excretas de bovinos que pastaram capim Marandu em monocultura (Mono) e capim Marandu em consórcio com *M. axillare* (cons), e fertilização com 50 kg N-ureia (N-Fert) na época Seca e das Águas. O tratamento N-fert foi aplicado apenas na época das Seca. Barras verticais representam o erro padrão da média.

#### 4.5.4 Produção de massa e concentração de nitrogênio na parte aérea

Foi verificada diferença significativa para a variável massa da parte aérea no primeiro ( $p < 0,0001$ ) e segundo corte ( $p < 0,0001$ ), entre as fontes de nitrogênio, EA ( $p < 0,0001$  para ambos os cortes) e as suas interações ( $p < 0,0001$ ,  $p < 0,028$ , 1º e 2º corte, respectivamente). No terceiro corte houve diferença apenas para EA ( $p < 0,0001$ ; Tabela 14). A concentração de N da massa da parte aérea apresentou diferença significativa para a fonte de nitrogênio ( $p < 0,0001$ , para todos os cortes), época do ano ( $p < 0,005$ , para todos os cortes) e a interação entre os fatores ( $p = 0,0008$  e  $p < 0,0001$ , para 1º e 3º corte, respectivamente; Tabela 14).

A maior produção de massa foi obtida nos tratamentos de urina no primeiro corte, seguidos do controle e das fezes ( $p < 0,0001$ , Tabela 14). Foi observado efeito negativo da adição de fezes, pois houve a redução da produção da parte aérea em relação ao controle, provavelmente devido a barreira física impostas pelas fezes. Placas fecais podem excluir a entrada de luz no dossel por meses, levando a morte das plantas cobertas (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Entretanto, as fezes também podem fazer o recrutamento de novas plantas no dossel via endozocoria, principalmente no consórcio. Foi verificada germinação de *M. axillare* nas fezes em todas as parcelas do Consórcio durante o experimento das Águas. Não foi notado injúria pela urina, no entanto a urina pode “queimar” a forragem devido a elevação do pH causada pela hidrólise da ureia ou pelo elevado concentração de sais na urina (RICHARDS; WOLTON, 1975).

Apesar de haver mais N nas fezes por área em relação a urina (Tabela 11 e Tabela 12), a maior produção de massa da parte aérea foi observada nos tratamentos urina no primeiro e

segundo corte. Também foi observado maior concentração de N (%) na parte aérea dos tratamentos urina em relação às fezes em todos os cortes (Tabela 14). O N da urina passa rapidamente para forma mineral, prontamente disponível, ao passo que nas fezes o N está na forma orgânica, mais recalcitrante, sendo disponibilizada pela mineralização, que por sua vez é dependente de chuvas e temperatura elevadas (WEERDEN et al., 2021).

A adubação com  $5 \text{ g m}^{-2}$ , o equivalente à parcela de adubação com ureia  $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , apresentou média de produção de massa parecido com o controle sem excreta no primeiro corte e com a urina (com média de aplicação de  $64,2 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) no segundo corte (Figura 15 A). Possivelmente a ureia da urina tenha sido mais rapidamente hidrolisada e disponibilizada para as plantas. A menor velocidade de hidrólise da fertilização com a ureia é corroborada com a volatilização de amônia (Figura 11 B e D). O esperado na absorção do N derivado das excretas ou fertilizante seria: fertilizante>urina>fezes (JENSEN et al., 1999).

No segundo corte, foi observado diferença na massa da parte aérea entre os tratamentos urina, o tratamento Monocultura foi maior do que o tratamento Consórcio. Principalmente, devido a diferença entre as massas da parte aérea encontradas no período da Águas, onde o tratamento Urina mono foi maior que o tratamento da Urina dos animais do consórcio, ao passo que, no experimento da Seca não houve diferença entre os tratamentos da urina (Figura 15 A).

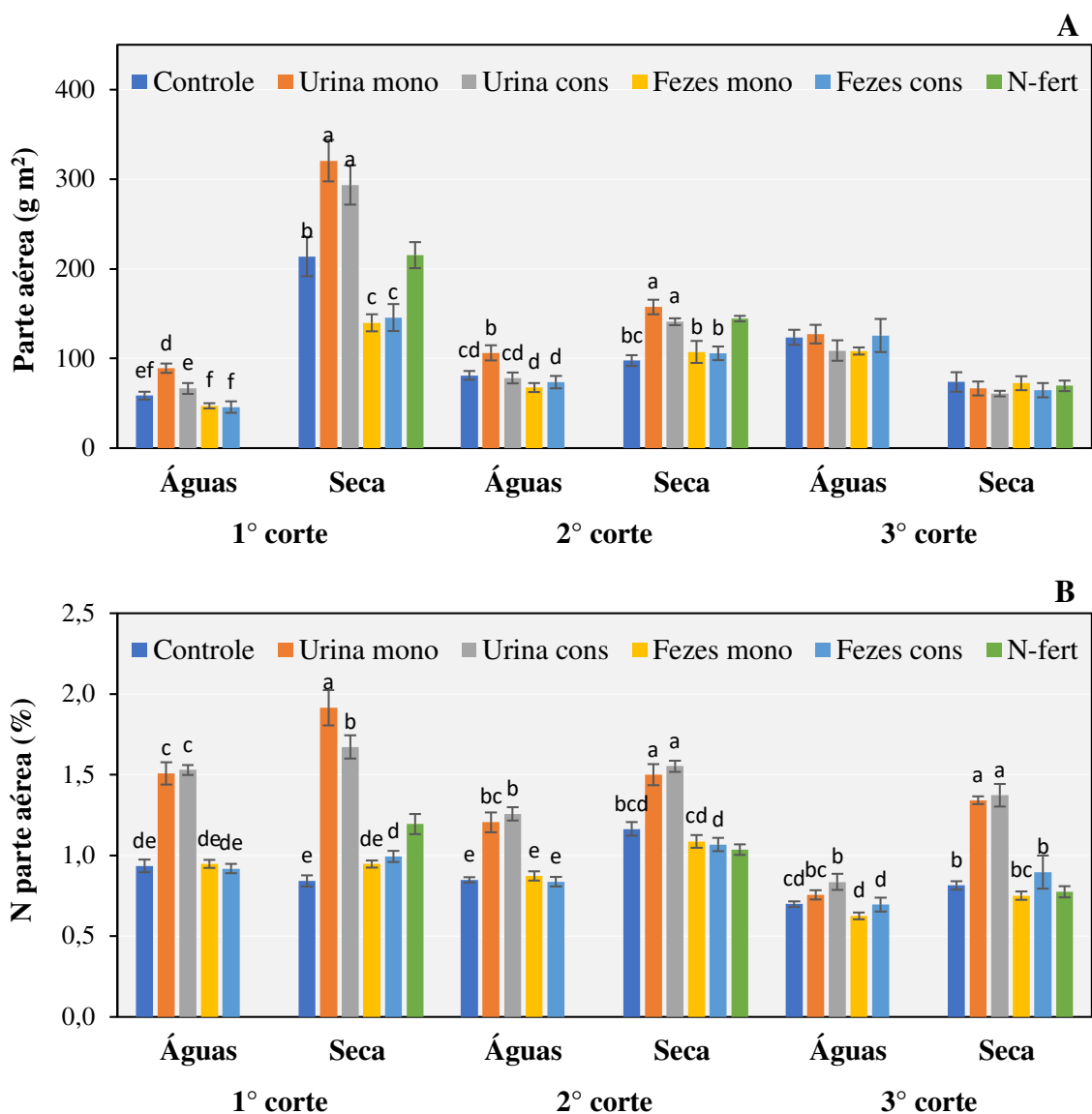
Durante o período da Seca houve maior produção de massa e em relação a época das Águas ( $p<0,0001$ ), devido a maior concentração de N encontrado nas excretas. A baixa concentração de N nas excretas do experimento (Tabela 11), juntamente com os cortes pode ter levado a um processo maior de deficiência nutricional dos tratamentos do período das Águas, uma vez que a concentração de N (%) na parte aérea diminuiu consistentemente entre os cortes (Tabela 14). Em outras palavras, a melhor condição climática para braquiária ao final do experimento das Águas favoreceu o aumento de produção de massa entre os cortes, enquanto diminuiu a concentração de N na parte aérea. No entanto, no período da Seca, o clima passou ter maior importância na limitação da produção de massa entre os cortes, uma vez que diminuiu a precipitação e a temperatura.

**Tabela 14.** Massa da parte aérea ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) e concentração de N (%) da parte aérea do interior das câmaras de coleta de gás. Excretas de animais que pastaram em pasto de Marandu em monocultura e Marandu em consórcio com *M. axillare* na época das Águas e das Seca.

Variável		Fonte de N (FN)				Época do Ano (EA)							
		Urina		Fezes		Ctrl	Ureia	Águas	Seca	EPM	FN	EA	F*EA
		Mono	Cons	Mono	Cons								
<b>Parte aérea, <math>\text{g m}^{-2}</math></b>	1° corte	196,52a	180,01a	93,44c	95,59c	136,09b	215,34	61,41b	219,25a	9,11	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	2° corte	131,66a	109,58b	87,49c	89,62c	89,42c	144,49	81,33b	121,78a	4,94	<0,0001	<0,0001	0,028
	3° corte	53,01	47,34	53,12	56,14	56,14	69,61	36,95b	67,64a	4,7	0,764	<0,0001	0,676
<b>N parte aérea, %</b>	1° corte	1,662a	1,601a	0,947b	0,955b	0,889b	1,19	1,17b	1,26a	0,032	<0,0001	0,0038	0,0008
	2° corte	1,353a	1,4a	0,98b	0,952b	1,006b	1,04	1b	1,27a	0,035	<0,0001	<0,0001	0,453
	3° corte	1,045a	1,104a	0,687c	0,719bc	0,757b	0,77	0,71b	1,014a	0,027	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Notas: Massa da parte aérea com base em massa seca; O tratamento fertilizado com ureia foi conduzido apenas no experimento da Seca e não foi incluído na estatística; nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD; abreviações: monocultura (Mono), consórcio (Cons), controle (Ctrl), erro padrão da média (EPM),  $n=6$ .





**Figura 15.** (A) Massa da parte aérea ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) e (B) concentração de N (%) da parte aérea do interior das câmaras de coleta de gás. Excretas de animais que pastaram em pasto de capim Marandu em monocultura e Marandu em consórcio com *M. axillare* na época das Águas e das Seca. O tratamento fertilizado com ureia (N-Fert) foi conduzido apenas no experimento da Seca não foi incluído na estatística. Interação entre fonte de nitrogênio e época do ano. Os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD. Abreviações: monocultura (Mono), consórcio (Cons), controle (Ctrl). Barras verticais representam o erro padrão da média (EPM).

#### 4.5.5 Balanço de massa da urina marcada com <sup>15</sup>N

Do N aplicado, 76,6% e 96,2%, no experimento das Águas e Seca, respectivamente, estavam no sistema solo-planta. Quase 50% desse N, em ambos os experimentos, estava no solo na profundidade de 0-10 cm (Tabela 15). Da fração recuperada no solo cerca de 88% se encontraram nos primeiros 10 cm. Lessa et al. (2014) realizou balanço de massa em região tropical com urina bovina durante o período chuvoso verificou que cerca de 65% do N aplicado estava no sistema solo-planta, 17,4% estava na braquiária e 23% estava no solo na profundidade

0-10, com perda substancial por volatilização de amônia, 23.6%. Em um estudo com urina marcada com  $^{15}\text{N}$  em lisímetro, 79% do N recuperado da urina estava nos primeiros 20 cm (FRASER; CAMERON; SHERLOCK, 1994). A relação C:N do solo foi de 15:1, 13:1 e 12:1 nas profundidades 0-10, 10-30 e 30-40, respectivamente (Tabela 10). A camada superficial (0-10 cm) além de ser a primeira a receber a urina, logo, com mais chance de ter maior concentração do N da urina, também é a profundidade com maior relação C:N. A relação C:N é positivamente relacionada à retenção do N aplicado ao solo e um dos principais fatores de imobilização do N em sistemas agrícolas e naturais (TEMPLER et al., 2012).

**Tabela 15.** Recuperação do nitrogênio da urina marcada com  $^{15}\text{N}$  por pasto de capim Marandu. Urina de animais que pastaram em pastos de capim Marandu em monocultura ou consórcio.

Variável	Dieta		Época do ano (EA)		EPM	p-valor			
	Consórcio	Monocultura	Águas	Seca		Dieta	EA	Dieta*EA	
<b>Solo, %</b>	0-10 cm	53,005	48,287	49,227	52,064	2,679	0,232	0,466	0,063
	10-20 cm	2,997	4,005	5,207a	1,794b	0,572	0,224	<0,001	0,215
	20-30 cm	0,565	0,610	-	0,588	0,143	0,843	-	-
	30-40 cm	0,242	0,262	-	0,252	0,096	0,900	-	-
<b>Raiz, %</b>	0-10 cm	0,321	0,339	0,302b	0,358a	0,011	0,266	0,040	0,059
	10-20 cm	0,115	0,127	0,093b	0,149a	0,009	0,370	<0,001	0,336
<b>Parte aérea, %</b>	1º corte	19,968b	23,958a	11,812b	32,113a	0,978	0,006	<0,001	0,658
	2º corte	6,978	7,867	6,678b	8,167a	0,463	0,111	0,012	0,220
	3º corte	1,745	2,035	2,222a	1,558b	0,138	0,138	<0,001	<0,001
	borda	0,849	0,826	1,474a	0,201b	0,128	0,899	<0,001	0,729
<b>Liteira</b>	-	0,164b	0,229a	0,246a	0,148b	0,020	0,034	0,012	0,019
<b>FE<sub>NH3</sub>, %</b>	-	1,827	1,975	0,132b	3,669a	0,223	0,605	<0,001	0,640
<b>Total, %</b>		88,418	89,970	77,167b	101,220a	3,367	0,722	<0,001	0,171

Notas: Nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD; FE<sub>N2O</sub>% da urina não adicionado por ser menor do que <0,1%; abreviações: FE<sub>NH3</sub> Fator de emissão para amônia; EPM Erro padrão da média.

Experimentos de balanço de massa com  $^{15}\text{N}$ , além da assimilação pela massa microbiana, normalmente, incluem outros destinos para o processo de imobilização, tais como: N fixado por argila e matéria orgânica e o N reciclado via liteira, dependendo do tamanho do experimento (SELBIE; BUCKTHOUGHT; SHEPHERD, 2015). Nesse caso, considerando a baixa concentração de N-mineral ao final da avaliação (Figura 14), praticamente todo N no compartimento do solo estaria imobilizado, incluído raízes finas não recuperadas. Segundo estudo com urina marcada em lisímetro e consórcio de alfafa com trevo branco, mais de 99% das no N estava na forma orgânica ao final do experimento (CLOUGH et al., 1998). A respeito das raízes finas, apesar do grande esforço para recuperar o máximo de raízes, parte das raízes finas ficaram no solo. É esperado maior concentração de N em raízes mais finas em relação a raízes mais grossas, portanto pode ser uma potencial fonte de superestimação do que foi imobilizado no solo (ROTH et al., 2022).

Estima-se que cerca de 54% do N foi imobilizado no solo e 31% na planta, durante os 150 dias de experimento, o que foi muito próximo ao encontrado por um estudo com cevada em microparcelas, onde 54% ficou imobilizado no solo e 35% na planta (JENSEN et al., 1999). Apesar disso, a imobilização do N no solo, segundo a literatura, varia grandemente, entre 10-63%, com média de 26% (SELBIE; BUCKTHOUGHT; SHEPHERD, 2015). Infelizmente, a grande maioria dos dados disponíveis na literatura foram produzidos em regiões de clima temperado e com elevadas doses de N.

A recuperação do N da urina apresentou diferença significativa quanto ao tipo de dieta no primeiro corte da parte aérea ( $p=0,006$ ) e na liteira ( $p=0,034$ ). Para EA, apenas não houve diferença no solo na profundidade 0-10, apresentando diferença para todas as demais variáveis ( $p<0,05$ ). Houve interação entre dieta e EA para liteira e o terceiro corte da parte aérea (Tabela 15).

O fator EA se mostrou ser o maior agente mediador do destino da urina. O solo na profundidade de 10-20 cm, na época das Águas, foi um destino maior para o N derivado da urina do que o período da Seca ( $p<0,001$ ), 5,2% e 1,8%, respectivamente. Este fato pode ser decorrente do maior processo de lixiviação do N posterior a aplicação da urina. Após a aplicação da urina no período das Águas choveu 751 mm enquanto que do período da Seca choveu apenas 271 mm. Camadas superficiais podem ser incapazes de reter as formas minerais de N, até mesmo o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), podendo ser lixiviado em condições de altas precipitações, solos arenosos, baixa CTC e baixa saturação por base (SELBIE; BUCKTHOUGHT; SHEPHERD, 2015).

Houve diferença estatística ( $p<0,001$ ) na recuperação do N pela massa de Marandu da borda da câmara entre EA. Neste caso, a recuperação foi maior na borda no período Águas em relação ao período das Seca. O de transporte do  $^{15}\text{N}$  para borda está em consonância com a lixiviação para maiores profundidades no período das Águas. Diversos mecanismos combinados estão envolvidos no transporte de soluto no solo, entre eles o convectivo, difusivo e dispersivo. Os princípios que tenham tirado o N da área da base ou para camadas mais profundas podem ter sido o difusivo, onde a substância se move da maior para menor concentração, e o dispersivo, no qual a substância se move passivamente acompanhado o fluxo de massa (RUIZ et al., 2010).

A recuperação total de N também corrobora com a maior perda no período das Águas em relação ao período Seco ( $p<0,001$ ). No período da Águas a recuperação total foi de 77,2%, enquanto da Seca foi de 100%. Interessantemente, a diferença de cerca de 22,8% na recuperação total entre as épocas do ano, é muito semelhante a maior diferença entre as épocas do ano, visto no primeiro corte da parte aérea, cerca de 20%, entre a época da Águas (11,8%) e da Seca (32,11%). Sendo assim, nas condições desse estudo, a precipitação no decorrer do experimento foram as principais causas da perda de N da urina em pastagem por meio do processo de lixiviação. Em um estudo com balanço de massa com urina marcada com  $^{15}\text{N}$ , a recuperação

não contabilizada de 5% foi considerado ser possível pela perda por lixiviação (LESSA et al., 2014).

Todo N foi recuperado no experimento da Seca, portanto, não foi verificada possíveis perdas por lixiviação, porém, é estimada uma perda de cerca de 22,8% por lixiviação no experimento das Águas. Em uma revisão sobre fatores de emissão e de perdas de N de fezes e urina combinados, a porcentagem média de N perdido por lixiviação é de 24,5% para  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  do solo, associado a isso, a perda de N por lixiviação é notadamente reduzido pela absorção das plantas (CAI; AKIYAMA, 2016). O IPCC (2019) adota o valor de 24% (1-73%) como fração do N perdido via lixiviação. Considerando a possibilidade do estudo de Lessa et al. (2014) ter perdido 5% por lixiviação e esse estudo ter perdido 0% e 22,8% por lixiviação, ambos em regiões tropicais, o valor de referência utilizado pelo IPCC (2019) pode estar superestimando em quase duas e meia vezes o encontrado para essa região.

Outra fonte de perda não contabilizada de N é a emissão de  $\text{N}_2$ . Foi estimado por um estudo de balanço de massa de urina em lisímetro uma perda de N de 25% por  $\text{N}_2$ , parcela predominante do N não recuperado (CLOUGH et al., 1998). Maiores emissões de  $\text{N}_2$  em relação ao  $\text{N}_2\text{O}$  se dão sob condições de disponibilidade de aceptores de elétrons e a demanda associada por doadores de elétrons no processo de desnitrificação (GILLAM; ZEBARTH; BURTON, 2008). Segundo os autores, a aeração do solo desempenha importante papel nesse processo da preferência microbiana pelo acceptor final de elétrons, conforme a sequência  $\text{O}_2 > \text{NO}_3^- > \text{N}_2\text{O}$ . Condições ambientais em que há prolongada saturação do solo com água, sob elevada disponibilidade de carbono favorecem a desnitrificação completa, no qual o  $\text{N}_2\text{O}$  torna-se acceptor de elétrons e o  $\text{N}_2$  vem a ser o produto final da desnitrificação. Durante a época da Águas, apesar das precipitações serem constantes, não foi registrado saturação do solo ( $\text{WFPS} > 70$ ), além do material de alta relação C:N disponibilizado pela braquiária via liteira, portanto, presume-se que as condições ambientais não devem ter favorecido a desnitrificação completa. Portanto, o  $\text{N}_2$  não deve ter sido uma via importante de perda de N.

A recuperação do N da liteira também obteve diferença significativa para o tipo de dieta e EA, além de interação entre os tratamentos ( $p=0,019$ , Tabela 15). Na interação entre os fatores, a urina da Monocultura obteve maior recuperação na época das Águas ( $0,3233\% \pm 0,044$ ) em relação a urina do Consórcio da Águas e da Seca com  $0,168\% \pm 0,044$  e  $0,16\% \pm 0,007$ , respectivamente, seguido da urina da Monocultura da Seca  $0,135\% \pm 0,007$ , que não diferiu da urina do Consórcio na época das Águas. A massa de liteira entre as EA, apresentou diferença significativa, com maior produção de liteira na época da Seca em relação as Águas ( $p=0,0074$ , Tabela 16). A maior massa de liteira produzida e depositada durante o período da Seca pode ter reduzido proporcionalmente o N derivado da urina na liteira, que originalmente recebeu a urina enriquecida. Em outras palavras, a deposição e acúmulo da liteira pode ter diluído o N recuperado em relação ao período das Águas, que por sua vez, apresentou menor massa de liteira. Alternativamente, a liteira coletada ao final dos experimentos pode ter relação com a liteira recém depositada, uma vez que no terceiro corte a proporção de N derivado da urina foi maior na época das Águas. Os tratamentos da época das Águas associado a deficiência de N, em um momento de melhores condições de crescimento, podem ter buscado em maior profundidade o N lixiviado e reciclado via liteira. Vale ressaltar que a massa da parte aérea dos tratamentos da urina na época das Águas foi maior no terceiro corte em relação a Seca (Figura 15). A produção de liteira é dinâmica e está intimamente ligada a produção de massa e pode variar dentro de ciclo de pastejo de 28 dias (RAMALHO et al., 2019). A urina pode ter influenciado a produção de massa até 150 dias depois da aplicação. Nesse sentido, as condições ambientais no momento da aplicação da urina podem afetar a magnitude e a duração do aproveitamento do N da urina durante o crescimento das plantas (WELTEN et al., 2019).

O destino do N para a parte aérea do tratamento Urina dos animais do Consórcio foi menor do que a Urina dos animais da Monocultura no primeiro corte (Tabela 14). A recuperação

do N da urina na raiz foi maior no período das Águas em relação ao período da Seca na profundidade de 0-10 e 10-20 cm ( $p=0,04$  e  $p<0,001$ , respectivamente). A maior concentração de N na Urina dos animais da Monocultura em relação ao Consórcio na Águas, assim como a maior concentração de N na Urina da época da Seca em relação a Urina da época das Águas pode ter aumentado a concentração de N disponível e consequentemente a maior recuperação de N pela braquiária.

Com uma lotação fixa de duas cabeças·ha<sup>-1</sup> e uma a excreção urinária de 37,4 e 44,7 g N·cabeça<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup> (

Tabela 8), para o período das Secas (120 dias do ano) e das Águas (245 dias do ano), respectivamente, seria esperado a excreção via urina de 30,88 kg N·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup>. Considerando os valores encontrados na recuperação da urina, o maior destino desse N seria a imobilização no solo, onde ~16,91 kg permaneceria no solo e liteira e ~11,35 kg N seria absorvido pelo capim Marandu. As perdas corresponderiam a menos de 10% da urina excretada, cerca de ~2,05 kg por lixiviação e ~0,82 por volatilização de amônia. Nas condições desse estudo as perdas de N<sub>2</sub>O foram muito baixas, sendo esperado uma perda por N-N<sub>2</sub>O de ~8,3 g·ha<sup>-1</sup>·ano<sup>-1</sup>. Estudos de ciclagem de N em pastagens tropicais assumiram perdas de N da urina em cerca de 50% e de fezes de 5% (BODDEY et al., 2004; HOMEM et al., 2021a), segundo os resultados desse estudo, talvez o valor de perda de N da urina esteja superestimado. O estudo conduzido por Lessa et al. (2014) com urina marcado com <sup>15</sup>N na região dos Cerrados na estação das águas registrou um valor de 35 % do N da urina não recuperado no sistema solo/planta.

**Tabela 16.** Massa de raiz e liteira ( $\text{g m}^{-2}$ ) nos tratamentos que receberam urina de animais com dieta de capim Marandu em monocultura e Marandu consorciado com *M axillare*, durante as épocas da Seca e das Águas.

Variável		Dieta		Época do ano (EA)		EPM	p-valor		
		Consórcio	Monocultura	Águas	Seca		Dieta	EA	Dieta*EA
<b>Raiz, <math>\text{g.m}^{-2}</math></b>	0-10 cm	307,66	353,27	199,84b	461,09a	21,293	0,09	<,0001	0,431
	10-20 cm	32,73	31,22	32,08	31,88	3,23	0,738	0,964	0,199
<b>Liteira, <math>\text{g.m}^{-2}</math></b>	-	187,48	185,98	139,6b	233,86a	36,53	0,971	0,0074	0,945

Notas: Nas linhas, os valores médios seguidos de letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste LSD; massa de raiz e liteira com base em matéria orgânica. abreviação: Erro padrão da média (EPM).

## 4.6 CONCLUSÕES

A imobilização de N no solo e absorção pela braquiária foi o principal destino do N nas condições desse experimento, chegando a 96,2% do N aplicado no experimento da Seca. Essa imobilização provocou poucas perdas por volatilização de amônia, emissão de óxido nitroso ou lixiviação em ambos os experimentos. As emissões de N<sub>2</sub>O foram muito próximas às emissões basais, e os valores de FEs foram inferiores às médias propostas pelo IPCC. É recomendado, portanto, que mais estudos sejam realizados para desagregação dos FE e partição do N excretado em diferentes qualidades de pasto em climas tropicais.

Independentemente da época do ano, o solo é o maior destino do N da urina aplicada, cerca de 50%. Devido a maior recuperação do N na camada 10-20 cm e pelo capim Marandu da borda da câmara, após consecutivos eventos de chuva, estima-se que no período da Águas, o capim Marandu permitiu que o N se perdesse por lixiviação, aproximadamente 23%. A introdução da *M. axillare* na dieta dos animais não contribuiu para o aumento de emissão de N<sub>2</sub>O, volatilização de NH<sub>3</sub> ou perdas por lixiviação.



## 5. CONCLUSÕES GERAIS

Está disponível na literatura um grande volume de resultados de FE de N<sub>2</sub>O de excretas bovina em clima úmido, que levam a produção de um seguro e reprodutível banco de dados, e que coincide com as médias do IPCC (2019). Porém há um desbalanço de produção de FE em relação às regiões representadas. Regiões de maiores latitudes geram FE mais altos, ao passo que regiões mais equatoriais, como o Brasil, produzem FE mais baixos, que por sua vez são sub representadas. As principais diferenças entre as regiões são devido ao tipo de dieta ofertado aos animais, onde países de clima subtropicais apresentam uma dieta mais rica em N, aumentando a excreção de N via urina, e melhorando a qualidade do N nas fezes. Nesse ponto, os achados do Capítulo I, corroboram com o Capítulo II. Este estudo representou parte da pecuária brasileira, que é extensiva e a pasto, tipicamente de capim Marandu, e que forneceu uma dieta que acarretou em baixa excreção de N. Aliado a isso, uma grande imobilização de N pelo solo e pelo capim Marandu, minimizam os riscos de perdas por N<sub>2</sub>O ou volatilização de amônia. Além da partição do N entre urina e fezes, que pode superestimar a excreção via urina.

O Capítulo II e o Capítulo III confluem quando é notado maior ingestão de proteína no pasto consorciado em relação aos tratamentos em monocultura sem, no entanto, haver aumento em excreção de N ou aumento nas perdas e emissões de GEE. Portanto, a introdução de *M. axillare* tem potencial de ser uma ferramenta para mitigação de GEE em sistema de pastagem tropical.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBANITO, F.; LEBENDER, U.; CORNULIER, T.; SAPKOTA, T. B.; BRENTROP, F.; STIRLING, C.; HILLIER, J. Direct Nitrous Oxide Emissions From Tropical And Sub-Tropical Agricultural Systems - A Review And Modelling Of Emission Factors. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 44235, 10 maio 2017.
- ALLEN, V. G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E. J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; MCIVOR, J.; MILNE, J.; MORRIS, C.; PEETERS, A.; SANDERSON, M. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 1, p. 2–28, 2011.
- ALMEIDA, J. G. R.; DALL-ORSOLETTA, A. C.; OZIEMBLOWSKI, M. M.; MICHELON, G. M.; BAYER, C.; EDOUARD, N.; RIBEIRO-FILHO, H. M. N. Carbohydrate-rich supplements can improve nitrogen use efficiency and mitigate nitrogenous gas emissions from the excreta of dairy cows grazing temperate grass. **Animal**, v. 14, n. 6, p. 1184–1195, 7 jun. 2020.
- 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<sub>2</sub>O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 129–135, 2012.
- ALVIAREZ, L. A. D.; HOMEM, B. G. C.; COUTO, P. H. DO; DUBEUX, J. C. B.; BERNARDES, T. F.; CASAGRANDE, D. R.; LARA, M. A. S. Managing “Marandu” palisadegrass and calopo pastures based on light interception. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 4, p. 447–461, 4 dez. 2020.
- AMARAL, M. B.; DOS SANTOS LOPES, T.; FEDER, C. B.; RIBEIRO, T. G.; PACHECO, R. S.; TEIXEIRA, T. N.; DE CASTRO MONTEIRO, E.; RAMALHO, I. O.; DE O. MACEDO, R.; BODDEY, R. M.; ZILLI, J. E.; ALVES, B. J. R. Bradyrhizobium occurrence in nodules of perennial horsegram. **Brazilian Journal of Microbiology**, n. 0123456789, 8 set. 2022.
- ANDRADE, C. M. S. DE; FERREIRA, A. S.; CASAGRANDE, D. R. **Uso de leguminosas em pastagens: potencial para consórcio compatível com gramíneas tropicais e necessidades de manejo do pasto.** (S. C. da Silva, C. G. S. Pedreira, J. C. Moura, Eds.) 27º Simpósio sobre Manejo de Pastagens. **Anais...Piracicaba: FEALQ**, 2015.
- ARAÚJO, E. DA S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. DE B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p. 769–776, jul. 2009.
- ARAUJO, K. E. C.; VERGARA, C.; GUIMARÃES, A. P.; ROUWS, J. R. C.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Changes in <sup>15</sup>N natural abundance of biologically fixed N<sub>2</sub> in soybean due to shading, rhizobium strain and plant growth stage. **Plant and Soil**, v. 426, n. 1–2, p. 413–428, 11 maio 2018.
- ARNOLD, S. L.; SCHEPERS, J. S. A Simple Roller-Mill Grinding Procedure for Plant and Soil Samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 3–4, p. 537–545, 31 dez. 2004.
- BARBOSA ALVIM, F.; SOARES-FILHO, B. S.; MERRY, F. D.; AZEVEDO, H. DE O.; SOUZA COSTA, W. L.; COE, M. T.; LIMA DA SILVEIRA BATISTA, E.; GONÇALVES

MACIEL, T.; COSTA SHEEPERS, L.; RIBEIRO DE OLIVEIRA, A.; OLIVEIRA RODRIGUES, H. **Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica**. Belo Horizonte: IGC/UFGM, 2015.

BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M.; PRIOR, S. A.; MOURA, M. C.; POGGERE, G.; MOTTA, A. C. V. Improving yield and health of legume crops via co-inoculation with rhizobia and Trichoderma: A global meta-analysis. **Applied Soil Ecology**, v. 176, n. April, p. 104493, 2022.

BERÇA, A. S.; CARDOSO, A. DA S.; LONGHINI, V. Z.; TEDESCHI, L. O.; BODDEY, R. M.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Protein and carbohydrate fractions in warm-season pastures: Effects of nitrogen management strategies. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 1–15, 2021.

BERNOUX, M.; DA CONCEIÇÃO SANTANA CARVALHO, M.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's Soil Carbon Stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 3, p. 888–896, 2002.

BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R.; HOMEM, B. G. C.; ALVES, B. J. R. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: A review. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 4, p. 357–371, 11 dez. 2020.

BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; DE OLIVEIRA, O. C.; DE P. REZENDE, C.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 103, n. 2, p. 389–403, jul. 2004.

BORENSTEIN, M.; HEDGES, L. V.; HIGGINS, J. P. T.; ROTHSTEIN, H. R. **Introduction to Meta-Analysis**. [s.l.] Wiley, 2009.

BRETAS, I. L.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, B. J. R.; MARTINS, M. R.; CARDOSO, A. S.; LIMA, M. A.; RODRIGUES, R. A. R.; SILVA, F. F.; CHIZZOTTI, F. H. M. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on Brachiaria decumbens growing in monoculture or silvopasture with Acacia mangium and Eucalyptus grandis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, n. October 2019, p. 106896, jun. 2020.

BYRNES, R. C.; NÚÑEZ, J.; ARENAS, L.; RAO, I.; TRUJILLO, C.; ALVAREZ, C.; ARANGO, J.; RASCHE, F.; CHIRINDA, N. Biological nitrification inhibition by Brachiaria grasses mitigates soil nitrous oxide emissions from bovine urine patches. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 107, p. 156–163, 2017.

CAI, Y.; AKIYAMA, H. Nitrogen loss factors of nitrogen trace gas emissions and leaching from excreta patches in grassland ecosystems: A summary of available data. **Science of the Total Environment**, v. 572, p. 185–195, 2016.

CAMPOS, D. V. B. DE; ALVES, B. J. R.; TEIXEIRA, P. C.; JANTALIA, C. P.; MATTOS, B. B. Nitrate de amônio Teixeira, Paulo César Donagemma, Guilherme Kangussu Fontana, Ademir Teixeira, Wenceslau Gerales. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA, 2017. p. 377–392.

CANTARUTTI, R. B.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CADISCH, G.; REZENDE, C. DE P.; PEREIRA, J. M.; BRAGA, J. M.; GOMIDE, J. A.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in Brachiaria pasture in the atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, n. 3, p. 257–271, 2002.

- CARDOSO, A. D. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Effect of volume of urine and mass of faeces on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions of dairy-cow excreta in a tropical pasture. **Animal Production Science**, v. 58, n. 6, p. 1079, 2016a.
- CARDOSO, A. DA S.; OLIVEIRA, S. C.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; BRITO, L. F.; MORGADO, E. DA S.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 194, n. June, p. 104341, 2019.
- CARDOSO, A. S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B. J. R.; DE CARVALHO, I. DAS N. O.; DE BARROS SOARES, L. H.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86–96, 2016b.
- CARVALHO, L. R.; PEREIRA, L. E. T.; HUNGRIA, M.; CAMARGO, P. B.; DA SILVA, S. C. Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 278, n. August 2018, p. 96–106, 2019.
- CAYUELA, M. L.; AGUILERA, E.; SANZ-COBENA, A.; ADAMS, D. C.; ABALOS, D.; BARTON, L.; RYALS, R.; SILVER, W. L.; ALFARO, M. A.; PAPPA, V. A.; SMITH, P.; GARNIER, J.; BILLEN, G.; BOUWMAN, L.; BONDEAU, A.; LASSALETTA, L. Direct nitrous oxide emissions in Mediterranean climate cropping systems: Emission factors based on a meta-analysis of available measurement data. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 238, p. 25–35, fev. 2017.
- CHAPMAN, D. F.; PARSONS, A. J.; COSGROVE, G. P.; BARKER, D. J.; MAROTTI, D. M.; VENNING, K. J.; RUTTER, S. M.; HILL, J.; THOMPSON, A. N. Impacts of Spatial Patterns in Pasture on Animal Grazing Behavior, Intake, and Performance. **Crop Science**, v. 47, n. 1, p. 399–415, jan. 2007.
- CHARLES, A.; ROCHETTE, P.; WHALEN, J. K.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; BERTRAND, N. Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 236, n. 3, p. 88–98, jan. 2017.
- CHEN, H.; LI, X.; HU, F.; SHI, W. Soil nitrous oxide emissions following crop residue addition: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 19, n. 10, p. 2956–2964, out. 2013.
- CHEN, X. B.; GOMES, M. J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives -an overview of the technical details. **International Feed Resources Unit**, n. January 1992, p. Occasional Publication 1992, 1992.
- CHIZZOTTI, M. L.; VALADARES FILHO, S. DE C.; VALADARES, R. F. D.; CHIZZOTTI, F. H. M.; TEDESCHI, L. O. Determination of creatinine excretion and evaluation of spot urine sampling in Holstein cattle. **Livestock Science**, v. 113, n. 2–3, p. 218–225, fev. 2008.
- CIAIS, P.; SABINE, C.; BALA, G.; BOPP, L.; BROVKIN, V.; CANADELL, J.; CHHABRA, A.; DEFRIES, R.; GALLOWAY, J.; HEIMANN, M.; JONES, C.; QUÉRÉ, C. LE; MYNENI, R. B.; PIAO, S.; THORNTON, P. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: [STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds.). . **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge and New York: Cambridge

University Press, 2013. p. 465–570.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. DE O.; DE PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. rev ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997.

CLOUGH, T. J.; LEDGARD, S. F.; SPROSEN, M. S.; KEAR, M. J. Fate of <sup>15</sup>N labelled urine on four soil types. **Plant and Soil**, v. 199, n. 2, p. 195–203, 1998.

COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K.; PAUL, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? **Global Change Biology**, v. 19, n. 4, p. 988–995, abr. 2013.

DA CRUZ CORRÊA, D. C.; CARDOSO, A. DA S.; FERREIRA, M. R.; SINISCALCHI, D.; GONÇALVES, P. H. DE A.; LUMASINI, R. N.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Ammonia volatilization, forage accumulation, and nutritive value of marandu palisade grass pastures in different n sources and doses. **Atmosphere**, v. 12, n. 9, 2021.

DA SILVA, S. C.; GIMENES, F. M. A.; SARMENTO, D. O. L.; SBRISSIA, A. F.; OLIVEIRA, D. E.; HERNADEZ-GARAY, A.; PIRES, A. V. Grazing behaviour, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. **The Journal of Agricultural Science**, v. 151, n. 5, p. 727–739, 15 out. 2013.

DE BASTOS, D. F.; MAGIERO, E. C.; TOMAZI, M.; SCHIRMANN, J.; VELOSO, M. G.; DE FACCI CARVALHO, P. C.; BAYER, C. A 3-year assessment of nitrous oxide emission factors for urine and dung of grazing sheep in a subtropical ecosystem. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 2, p. 982–991, 18 fev. 2020.

DELEVATTI, L. M.; CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; LEITE, R. G.; ROMANZINI, E. P.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 7596, 20 dez. 2019.

DETMANN, E.; VALENTE, É. E. L.; BATISTA, E. D.; HUHTANEN, P. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, n. 1, p. 141–153, abr. 2014.

DHARMAKEERTHI, R.; THENABADU, M. Urease activity in soils: A review. **J Natn Sci Coun Sri Lanka**, v. 24, n. 3, p. 159–195, 1996.

DIJKSTRA, J.; OENEMA, O.; VAN GROENIGEN, J. W.; SPEK, J. W.; VAN VUUREN, A. M.; BANNINK, A. Diet effects on urine composition of cattle and N<sub>2</sub>O emissions. **Animal**, v. 7, p. 292–302, 2013.

DOS SANTOS, C. A.; MONTEIRO, R. C.; HOMEM, B. G. C.; SALGADO, L. S.; CASAGRANDE, D. R.; PEREIRA, J. M.; DE PAULA REZENDE, C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Productivity of beef cattle grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu with and without nitrogen fertilizer application or mixed pastures with the legume *Desmodium ovalifolium*. **Grass and Forage Science**, n. August, p. 1–14, 5 set. 2022.

DUBEUX, J. C. B.; BLOUNT, A. R. S.; MACKOWIAK, C.; SANTOS, E. R. S.; PEREIRA NETO, J. D.; RIVEROS, U.; GARCIA, L.; JARAMILLO, D. M.; RUIZ-MORENO, M. Biological N Fixation, Belowground Responses, and Forage Potential of Rhizoma Peanut Cultivars. **Crop Science**, v. 57, n. 2, p. 1027, 2017.

- DURANGO MORALES, S. G.; BARAHONA, R.; BOLÍVAR, D. M.; ARANGO, J.; VERCHOT, L.; CHIRINDA, N. Apparent Nitrogen Recovery in Milk and Early Dry Season Nitrous Oxide Emission Factors for Urine Deposited by Dual-Purpose Cattle on Different Soil Types. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, n. January, 18 jan. 2021.
- ELGERSMA, A.; SØEGAARD, K. Effects of species diversity on seasonal variation in herbage yield and nutritive value of seven binary grass-legume mixtures and pure grass under cutting. **European Journal of Agronomy**, v. 78, p. 73–83, 2016.
- ERICKSON, P. S.; KALSCHUR, K. F. Nutrition and feeding of dairy cattle. In: **Animal Agriculture**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 157–180.
- ERISMAN, J. W.; SUTTON, M. A.; GALLOWAY, J.; KLIMONT, Z.; WINIWARTER, W. How a century of ammonia synthesis changed the world. **Nature Geoscience**, v. 1, n. 10, p. 636–639, 2008.
- EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; NANTES, N. N. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**, v. 61, p. 808–818, 2014.
- FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, p. 201854, 7 jul. 2021.
- FENN, L. B.; HOSSNER, L. R. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming Nitrogen Fertilizers. In: STEWART, B. A. (Ed.). **Advances in Soil Science**. 1. ed. New York: Springer, 1985. p. 123–170.
- FRANCISQUINI JUNIOR, A.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A.; DOS SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Increase of nitrogen-use efficiency by phosphorus fertilization in grass–legume pastures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 118, n. 2, p. 165–175, 11 nov. 2020.
- FRASER, P. M.; CAMERON, K. C.; SHERLOCK, R. R. Lysimeter study of the fate of nitrogen in animal urine returns to irrigated pasture. **European Journal of Soil Science**, v. 45, n. 4, p. 439–447, dez. 1994.
- GARCIA, L.; DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; VENDRAMINI, J. M. B.; DILORENZO, N.; SANTOS, E. R. S.; JARAMILLO, D. M.; RUIZ-MORENO, M. Nutrient excretion from cattle grazing nitrogen-fertilized grass or grass–legume pastures. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 4, p. 3110–3123, 28 jul. 2021.
- GARDINER, C. A.; CLOUGH, T. J.; CAMERON, K. C.; DI, H. J.; EDWARDS, G. R.; DE KLEIN, C. A. M. Potential for forage diet manipulation in New Zealand pasture ecosystems to mitigate ruminant urine derived N<sub>2</sub>O emissions: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 3, p. 301–317, 2016.
- GILLAM, K. M.; ZEBARTH, B. J.; BURTON, D. L. Nitrous oxide emissions from denitrification and the partitioning of gaseous losses as affected by nitrate and carbon addition and soil aeration. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 88, n. 2, p. 133–143, 1 maio 2008.
- GIMENES, F. M. DE A.; BARBOSA, H. Z.; GERDES, L.; GIACOMINI, A. A.; BATISTA, K.; DE MATTOS, W. T.; PREMAZZI, L. M.; MIGUEL, A. N. DE V. The utilization of tropical legumes to provide nitrogen to pastures: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 85–92, 12 jan. 2017.

GOMES, F. K.; OLIVEIRA, M. D. B. L.; HOMEM, B. G. C.; BODDEY, R. M.; BERNARDES, T. F.; GIONBELLI, M. P.; LARA, M. A. S.; CASAGRANDE, D. R. Effects of grazing management in brachiaria grass-forage peanut pastures on canopy structure and forage intake. **Journal of Animal Science**, p. 3837–3849, 2018.

GUIMARÃES, B. C.; DE KÁSSIA GOMES, F.; HOMEM, B. G. C.; DE LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; CASAGRANDE, D. R. Emissions of N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> from cattle excreta in grass pastures fertilized with N or mixed with a forage legume. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 122, n. 3, p. 325–346, 2022.

HAYNES, R. .; WILLIAMS, P. . Nutrient Cycling and Soil Fertility in the Grazed Pasture Ecosystem. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. San Diego, California: Academic Press, 1993. v. 49p. 119–199.

HEIL, J.; VERECKEN, H.; BRÜGGEMANN, N. A review of chemical reactions of nitrification intermediates and their role in nitrogen cycling and nitrogen trace gas formation in soil. **European Journal of Soil Science**, v. 67, n. 1, p. 23–39, jan. 2016.

HERGOUALC'H, K.; MUELLER, N.; BERNOUX, M.; KASIMIR, Ä.; WEERDEN, T. J.; OGLE, S. M. Improved accuracy and reduced uncertainty in greenhouse gas inventories by refining the IPCC emission factor for direct N<sub>2</sub>O emissions from nitrogen inputs to managed soils. **Global Change Biology**, n. August, p. 1–15, 25 set. 2021.

HOLDEN, L. A. Comparison of Methods of In Vitro Dry Matter Digestibility for Ten Feeds. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 8, p. 1791–1794, ago. 1999.

HOMEM, B. G. C.; DE LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; GUIMARÃES, B. C.; GUIMARÃES, G. D.; BERNARDES, T. F.; DE P. REZENDE, C.; BODDEY, R. M.; CASAGRANDE, D. R. N-fertiliser application or legume integration enhances N cycling in tropical pastures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, n. 2–3, p. 167–190, 2021a.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; BORGES, L. P. C.; BODDEY, R. M.; DUBEUX, J. C. B.; BERNARDES, T. F.; CASAGRANDE, D. R. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 2. Effects on animal performance, forage intake and digestion, and nitrogen metabolism. **Grass and Forage Science**, n. February, p. gfs.12533, 18 maio 2021b.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; FERREIRA, I. M.; BODDEY, R. M.; BERNARDES, T. F.; DUBEUX, J. C. B.; CASAGRANDE, D. R. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 1. Effects on herbage mass, canopy structure and forage nutritive value. **Grass and Forage Science**, v. 76, n. 3, p. 400–412, 6 set. 2021c.

HUHTANEN, P.; KAUSTELL, K.; JAAKKOLA, S. The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 48, n. 3–4, p. 211–227, ago. 1994.

IPCC. Consistent Representation of Lands, chapter 3. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, p. 42, 2006.

IPCC. N<sub>2</sub>O Emissions From Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions From Lime and Urea Application. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, p. 1–48, 2019.

IPCC. Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.;

CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; LEITZELL, K.; LONNOY, E.; MATTHEWS, J. B. .; MAYCOCK, T. K.; WATERFIELD, T.; YELEKÇI, O.; YU, R.; ZHOU, B. (Eds.). . **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** [s.l: s.n.]. p. 3949.

JANTALIA, C. P.; HALVORSON, A. D.; FOLLETT, R. F.; ALVES, B. J. R.; POLIDORO, J. C.; URQUIAGA, S. Nitrogen source effects on ammonia volatilization as measured with semi-static chambers. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 6, p. 1595–1603, 2012.

JENSEN, B.; SØRENSEN, P.; THOMSEN, I. K.; CHRISTENSEN, B. T.; JENSEN, E. S. Availability of Nitrogen in <sup>15</sup>N-Labeled Ruminant Manure Components to Successively Grown Crops. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 2, p. 416–423, mar. 1999.

KELLIHER, F. M.; COX, N.; VAN DER WEERDEN, T. J.; DE KLEIN, C. A. M.; LUO, J.; CAMERON, K. C.; DI, H. J.; GILTRAP, D.; RYS, G. Statistical analysis of nitrous oxide emission factors from pastoral agriculture field trials conducted in New Zealand. **Environmental Pollution**, v. 186, p. 63–66, mar. 2014.

KLEIN, C. A. M. DE; BARTON, L.; SHERLOCK, R. R.; LI, Z.; LITTLEJOHN, R. P. Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. **Soil Research**, v. 41, n. 3, p. 381, 2003.

LAPIG. **Atlas das Pastagens.** Disponível em: <<https://lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/atlas-digital-das-pastagens-brasileiras>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

LASCANO, C. E. Selective grazing on grass-legume mixtures in tropical pastures. **Grassland ecophysiology and grazing ecology**, p. 249–263, jan. 2000.

LEDGARD, S. F.; BOYES, M.; BRENTUP, F. Life cycle assessment of local and imported fertilisers used on New Zealand farms. In: CURRIE, L.; CRISTENSEN, C. (Eds.). . **Adding to the knowledge base for the nutrient manager occasional report n° 24.** Palmerston North, New Zealand: Fertilizer and Lima Research Centre, 2011. p. 1–13.

LEDGARD, S.; SCHILS, R.; ERIKSEN, J.; LUO, J. Environmental impacts of grazed clover / grass pastures. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 48, n. 2, p. 209–226, 2009.

LESSA, A. C. R.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, n. 1, p. 104–111, jun. 2014.

LIU, M.; HUANG, X.; SONG, Y.; TANG, J.; CAO, J.; ZHANG, X.; ZHANG, Q.; WANG, S.; XU, T.; KANG, L.; CAI, X.; ZHANG, H.; YANG, F.; WANG, H.; YU, J. Z.; LAU, A. K. H.; HE, L.; HUANG, X.; DUAN, L.; DING, A.; XUE, L.; GAO, J.; LIU, B.; ZHU, T. Ammonia emission control in China would mitigate haze pollution and nitrogen deposition, but worsen acid rain. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 116, n. 16, p. 7760–7765, 2019.

LONGHINI, V. Z.; CARDOSO, A. DA S.; BERÇA, A. S.; BODDEY, R. M.; REIS, R. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; RUGGIERI, A. C. Nitrogen supply and rainfall affect ammonia emissions from dairy cattle excreta and urea applied on warm-climate pastures. **Journal of**



**Environmental Quality**, v. 49, n. 6, p. 1453–1466, 30 nov. 2020.

LÓPEZ-AIZPÚN, M.; HORROCKS, C. A.; CHARTERIS, A. F.; MARSDEN, K. A.; CIGANDA, V. S.; EVANS, J. R.; CHADWICK, D. R.; CÁRDENAS, L. M. Meta-analysis of global livestock urine-derived nitrous oxide emissions from agricultural soils. **Global Change Biology**, v. 26, n. 4, p. 2002–2013, abr. 2020.

MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; REZENDE, C. DE P.; PEREIRA, J. M.; CADISCH, G.; ROUWS, J. R. C.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Forage intake and botanical composition of feed for cattle fed Brachiaria/legume mixtures. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 4, p. 384–392, ago. 2010.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil - Coleção 6.**

MARTINS, M. R.; SARKIS, L. F.; GUARESCHI, R. F.; SANTOS, C. A.; SANT'ANNA, S. A. C.; ZAMAN, M.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; ARAÚJO, E. S.; URQUIAGA, S. A simple and easy method to measure ammonia volatilization: Accuracy under field conditions. **Pedosphere**, v. 31, n. 2, p. 255–264, abr. 2021.

MAZZETTO, A. M.; BARNEZE, A. S.; FEIGL, B. J.; VAN GROENIGEN, J. W.; OENEMA, O.; CERRI, C. C. Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 76, p. 242–248, set. 2014.

MAZZETTO, A. M.; STYLES, D.; GIBBONS, J.; ARNDT, C.; MISSELBROOK, T.; CHADWICK, D. Region-specific emission factors for Brazil increase the estimate of nitrous oxide emissions from nitrogen fertiliser application by 21%. **Atmospheric Environment**, v. 230, n. November 2019, p. 117506, jun. 2020.

MCTI. **Estimativas anuais de emissão de gases de efeito estufa no Brasil: 2022.** Brasília-DF: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee>>.

MINSON, D. J. **Forage in ruminant nutrition.** San Diego, California: Academic Press, 1990.

MOLODOVSKAYA, M.; SINGURINDY, O.; RICHARDS, B. K.; WARLAND, J.; JOHNSON, M. S.; STEENHUIS, T. S. Temporal Variability of Nitrous Oxide from Fertilized Croplands: Hot Moment Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 5, p. 1728–1740, set. 2012.

MORI, A.; HOJITO, M. Methane and nitrous oxide emissions due to excreta returns from grazing cattle in Nasu, Japan. **Grassland Science**, v. 61, n. 2, p. 109–120, jun. 2015.

MOSSBERG, I.; LINDELL, L.; JOHNSON, S.; TÖRNQUIST, M.; ENGSTRAND, U. Two Housing Systems for Intensively Reared Bulls Slaughtered in Two Weight Ranges. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science**, v. 42, n. 3, p. 167–176, ago. 1992.

MULVANEY, M. J.; CUMMINS, K. A.; WOOD, C. W.; WOOD, B. H.; TYLER, P. J. Ammonia Emissions from Field-Simulated Cattle Defecation and Urination. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, n. 6, p. 2022–2027, 2008.

MYERS, W. D.; LUDDEN, P. A.; NAYIGIHUGU, V.; HESS, B. W. Technical Note: A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 1, p. 179–183, 1 jan. 2004.

NORDHEIM-VIKEN, H.; VOLDEN, H. Effect of maturity stage, nitrogen fertilization and seasonal variation on ruminal degradation characteristics of neutral detergent fibre in timothy (*Phleum pratense* L.). **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, n. 1–2, p. 30–59, 2009.

OERTEL, C.; MATSCHULLAT, J.; ZURBA, K.; ZIMMERMANN, F.; ERASMI, S. Greenhouse gas emissions from soils—A review. **Chemie der Erde**, v. 76, n. 3, p. 327–352, 2016.

OLIVEIRA NETO, R. A. DE; SILVA, J. H. S. DA; ROCHA, M. G. DA; PÖTTER, L.; SICHONANY, M. J. DE O.; BISCAÍNO, L. L.; SANTOS, F. A. DOS; DIFANTE, M. V. B. Ingestive behavior, performance and forage intake by beef heifers on tropical pasture systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 8, p. 549–558, ago. 2013.

ORWIN, R. G. A Fail-Safe N for Effect Size in Meta-Analysis. **Journal of Educational Statistics**, v. 8, n. 2, p. 157–159, 23 jun. 1983.

PÄRN, J.; VERHOEVEN, J. T. A.; BUTTERBACH-BAHL, K.; DISE, N. B.; ULLAH, S.; AASA, A.; EGOROV, S.; ESPENBERG, M.; JÄRVEOJA, J.; JAUHAINEN, J.; KASAK, K.; KLEMEDTSSON, L.; KULL, A.; LAGGOUN-DÉFARGE, F.; LAPSHINA, E. D.; LOHILA, A.; LÖHMUS, K.; MADDISON, M.; MITSCH, W. J.; MÜLLER, C.; NIINEMETS, Ü.; OSBORNE, B.; PAE, T.; SALM, J.; SGOURIDIS, F.; SOHAR, K.; SOOSAAR, K.; STOREY, K.; TEEMUSK, A.; TENYAWA, M. M.; TOURNEBIZE, L.; TRUU, J.; VEBER, G.; VILLA, J. A.; ZAW, S. S.; MANDER, U. Nitrogen-rich organic soils under warm well-drained conditions are global nitrous oxide emission hotspots. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1135, 19 dez. 2018.

PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized Monitoring of Gas Production to Measure Forage Digestion In Vitro. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 4, p. 1063–1073, abr. 1993.

PELSTER, D. E.; GISORE, B.; GOOPY, J.; KORIR, D.; KOSKE, J. K.; RUFINO, M. C.; BUTTERBACH-BAHL, K. Methane and Nitrous Oxide Emissions from Cattle Excreta on an East African Grassland. **Journal of Environmental Quality**, v. 45, n. 5, p. 1531–1539, set. 2016.

PEREIRA, J. C.; GOMES, F. K.; OLIVEIRA, M. D. B. L.; LARA, M. A. S.; BERNARDES, T. F.; CASAGRANDE, D. R. Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 34, n. 1, p. 13–19, 2017.

PEREIRA, J. M.; REZENDE, C. DE P.; FERREIRA BORGES, A. M.; HOMEM, B. G. C.; CASAGRANDE, D. R.; MACEDO, T. M.; ALVES, B. J. R.; CABRAL DE SANT'ANNA, S. A.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Production of beef cattle grazing on *Brachiaria brizantha* (Marandu grass)—*Arachis pintoi* (forage peanut cv. Belomonte) mixtures exceeded that on grass monocultures fertilized with 120 kg N/ha. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 1, p. 28–36, 12 mar. 2020.

PHELAN, P.; MOLONEY, A. P.; MCGEOUGH, E. J.; HUMPHREYS, J.; BERTILSSON, J.; O'RIORDAN, E. G.; O'KIELY, P. Forage Legumes for Grazing and Conserving in Ruminant Production Systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 34, n. 1–3, p. 281–326, 24 jun. 2015.

QUINTERO-ANZUETA, S.; MOLINA-BOTERO, I. C.; RAMIREZ-NAVAS, J. S.; RAO, I.; CHIRINDA, N.; BARAHONA-ROSALES, R.; MOORBY, J.; ARANGO, J. Nutritional Evaluation of Tropical Forage Grass Alone and Grass-Legume Diets to Reduce in vitro

Methane Production. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, n. June, p. 1–13, 14 jun. 2021.

RAMALHO, I. O.; REZENDE, C. D. P.; PEREIRA, J. M.; MACEDO, R. D. O.; SANTOS, C. A. DOS; MONTEIRO, R. C.; ALVES, B. J. R.; CARVALHO, I. DAS N. O. DE; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Deposition and decomposition of litter in periods of grazing and rest of a tropical pasture under rotational grazing. **Ciência Rural**, v. 49, n. 12, p. 1–8, 2019.

RAVISHANKARA, A. R.; DANIEL, J. S.; PORTMANN, R. W. Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. **Science**, v. 326, n. 5949, p. 123–125, 2 out. 2009.

RICHARDS, I. R.; WOLTON, K. M. A NOTE ON URINE SCORCH CAUSED BY GRACING ANIMALS. **Grass and Forage Science**, v. 30, n. 3, p. 187–188, set. 1975.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; GAGNON, B.; BERTRAND, N. N<sub>2</sub>O fluxes in soils of contrasting textures fertilized with liquid and solid dairy cattle manures. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 88, n. 2, p. 175–187, 1 maio 2008.

ROSENBERG, M. S. the File-Drawer Problem Revisited: a General Weighted Method for Calculating Fail-Safe Numbers in Meta-Analysis. **Evolution**, v. 59, n. 2, p. 464, 2005.

ROSENTHAL, R. The file drawer problem and tolerance for null results. **Psychological Bulletin**, v. 86, n. 3, p. 638–641, maio 1979.

ROTH, R. T.; LACEY, C. G.; CAMBERATO, J. J.; ARMSTRONG, S. D. Quantifying the fate of nitrogen from cereal rye root and shoot biomass using <sup>15</sup>N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, n. 0123456789, 15 jun. 2022.

RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ROCHA, G. C.; JR, J. C. F. B. Transporte de soluto no solo. In: LIER, Q. DE J. VAN (Ed.). **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241.

SALES, K. C.; CABRAL, C. E. A.; ABREU, J. G.; BARROS, L. V.; SILVA, F. G.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; SILVA JUNIOR, C. A.; CAMPOS FILHO, J. B. What is the maximum nitrogen in marandu palisadegrass fertilization? **Grassland Science**, v. 66, n. 3, p. 153–160, 25 jul. 2020.

SANTOS, HUMBERTO G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; FILHO, J. C. DE A.; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2018a.

SANTOS, E. R. S.; DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; BLOUNT, A. R. S.; MACKOWIAK, C.; DILORENZO, N.; JARAMILLO, D. M.; GARCIA, L.; PEREIRA, T. P.; RUIZ-MORENO, M. Herbage Responses and Biological N<sub>2</sub> Fixation of Bahiagrass and Rhizoma Peanut Monocultures Compared with their Binary Mixtures. **Crop Science**, v. 58, n. 5, p. 2149–2163, 2 set. 2018b.

SCHIRMANN, J.; BASTOS, D. F. DE; WEILER, D. A.; VELOSO, M. G.; DIECKOW, J.; CARVALHO, P. C. D. F.; BAYER, C. Nitrous oxide emission factor from cattle urine and dung in native grassland of the Pampa biome, South Brazil. **Soil Research**, v. 58, n. 2, p. 198, 2020.

SCHOLEFIELD, D.; LOCKYER, D. R.; WHITEHEAD, D. C.; TYSON, K. C. A model to

predict transformations and losses of nitrogen in UK pastures grazed by beef cattle. **Plant and Soil**, v. 132, n. 2, p. 165, abr. 1991.

SELBIE, D. R.; BUCKTHOUGHT, L. E.; SHEPHERD, M. A. **The Challenge of the Urine Patch for Managing Nitrogen in Grazed Pasture Systems**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2015. v. 129.

SHEARER, G.; KOHL, D. N<sub>2</sub>-Fixation in Field Settings: Estimations Based on Natural <sup>15</sup>N Abundance. **Functional Plant Biology**, v. 13, n. 6, p. 699, 1986.

SHORT, F. J.; GORTON, P.; WISEMAN, J.; BOORMAN, K. N. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. **Animal Feed Science and Technology**, v. 59, n. 4, p. 215–221, jun. 1996.

SILVA, L. F. C. E.; VALADARES FILHO, S. DE C.; CHIZZOTTI, M. L.; ROTTA, P. P.; PRADOS, L. F.; VALADARES, R. F. D.; ZANETTI, D.; BRAGA, J. M. DA S. Creatinine excretion and relationship with body weight of Nellore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 3, p. 807–810, mar. 2012.

SOLLENBERGER, L. E.; DUBEUX, J. C. B. Warm-climate, legume-grass forage mixtures versus grass-only swards: An ecosystem services comparison. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, n. October, 24 out. 2022.

TEMPLER, P. H.; MACK, M. C.; III, F. S. C.; CHRISTENSON, L. M.; COMPTON, J. E.; CROOK, H. D.; CURRIE, W. S.; CURTIS, C. J.; DAIL, D. B.; D'ANTONIO, C. M.; EMMETT, B. A.; EPSTEIN, H. E.; GOODALE, C. L.; GUNDERSEN, P.; HOBBIE, S. E.; HOLLAND, K.; HOOPER, D. U.; HUNGATE, B. A.; LAMONTAGNE, S.; NADERLHOFFER, K. J.; OSENBERG, C. W.; PERAKIS, S. S.; SCHLEPPI, P.; SCHIMEL, P.; SCHMIDT, I. K.; SOMMERKORN, M.; SPOELSTRA, J.; TIETEMA, A.; WESSEL, W. W.; ZAK, D. R. Sinks for nitrogen inputs in terrestrial ecosystems: a meta-analysis of <sup>15</sup>N tracer field studies. **Ecology**, v. 93, n. 8, p. 1816–1829, 3 ago. 2012.

THOMAS, D.; SUMBERG, J. E. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 54, n. 3, p. 151–163, 1995.

THOMAS, R. J. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. **Grass and Forage Science**, v. 47, n. 2, p. 133–142, jun. 1992.

TULLY, K. L.; ABWANDA, S.; THIONG'O, M.; MUTUO, P. M.; ROSENSTOCK, T. S. Nitrous Oxide and Methane Fluxes from Urine and Dung Deposited on Kenyan Pastures. **Journal of Environmental Quality**, v. 46, n. 4, p. 921–929, jul. 2017.

UNKOVICH, M.; HERRIDGE, D.; PEOPLES, M.; CADISCH, G.; BODDEY, R.; GILLER, K.; ALVES, B.; CHALK, P. **Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems**. Canberra: ACIAR, 2008. v. 49.

VAN DER WEERDEN, T. J.; NOBLE, A. N.; LUO, J.; DE KLEIN, C. A. M.; SAGGAR, S.; GILTRAP, D.; GIBBS, J.; RYS, G. Meta-analysis of New Zealand's nitrous oxide emission factors for ruminant excreta supports disaggregation based on excreta form, livestock type and slope class. **Science of the Total Environment**, v. 732, p. 139235, 2020.

VENDRAMINI, J. M. B.; SOLLENBERGER, L. E.; SOARES, A. B.; DA SILVA, W. L.; SANCHEZ, J. M. D.; VALENTE, A. L.; AGUIAR, A. D.; MULLENIX, M. K. Harvest frequency affects herbage accumulation and nutritive value of brachiaria grass hybrids in Florida. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, v. 2, n. 2, p. 197, 2014.

VRIES, M. F. W. DE. Estimating Forage Intake and Quality in Grazing Cattle: A Reconsideration of the Hand-Plucking Method. **Journal of Range Management**, v. 48, n. 4, p. 370, jul. 1995.

WEERDEN, T. J.; NOBLE, A.; KLEIN, C. A. M.; HUTCHINGS, N.; THORMAN, R. E.; ALFARO, M. A.; AMON, B.; BELTRAN, I.; GRACE, P.; HASSOUNA, M.; KROL, D. J.; LEYTEM, A. B.; SALAZAR, F.; VELTHOF, G. L. Ammonia and nitrous oxide emission factors for excreta deposited by livestock and land-applied manure. **Journal of Environmental Quality**, v. 50, n. 5, p. 1005–1023, 29 set. 2021.

WEITZ, A. .; LINDER, E.; FROLKING, S.; CRILL, P. .; KELLER, M. N<sub>2</sub>O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 7–8, p. 1077–1093, jun. 2001.

WELTEN, B. G.; LEDGARD, S. F.; JUDGE, A. A.; SPROSEN, M. S.; MCGOWAN, A. W.; DEXTER, M. M. Efficacy of different temperate pasture species to reduce nitrogen leaching from cattle urine applied in different seasons: A soil lysimeter study. **Soil Use and Management**, v. 35, n. 4, p. 653–663, 4 dez. 2019.

ZHENGHU, D.; HONGLANG, X. Effects of soil properties on ammonia volatilization. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 46, n. 4, p. 845–852, dez. 2000.

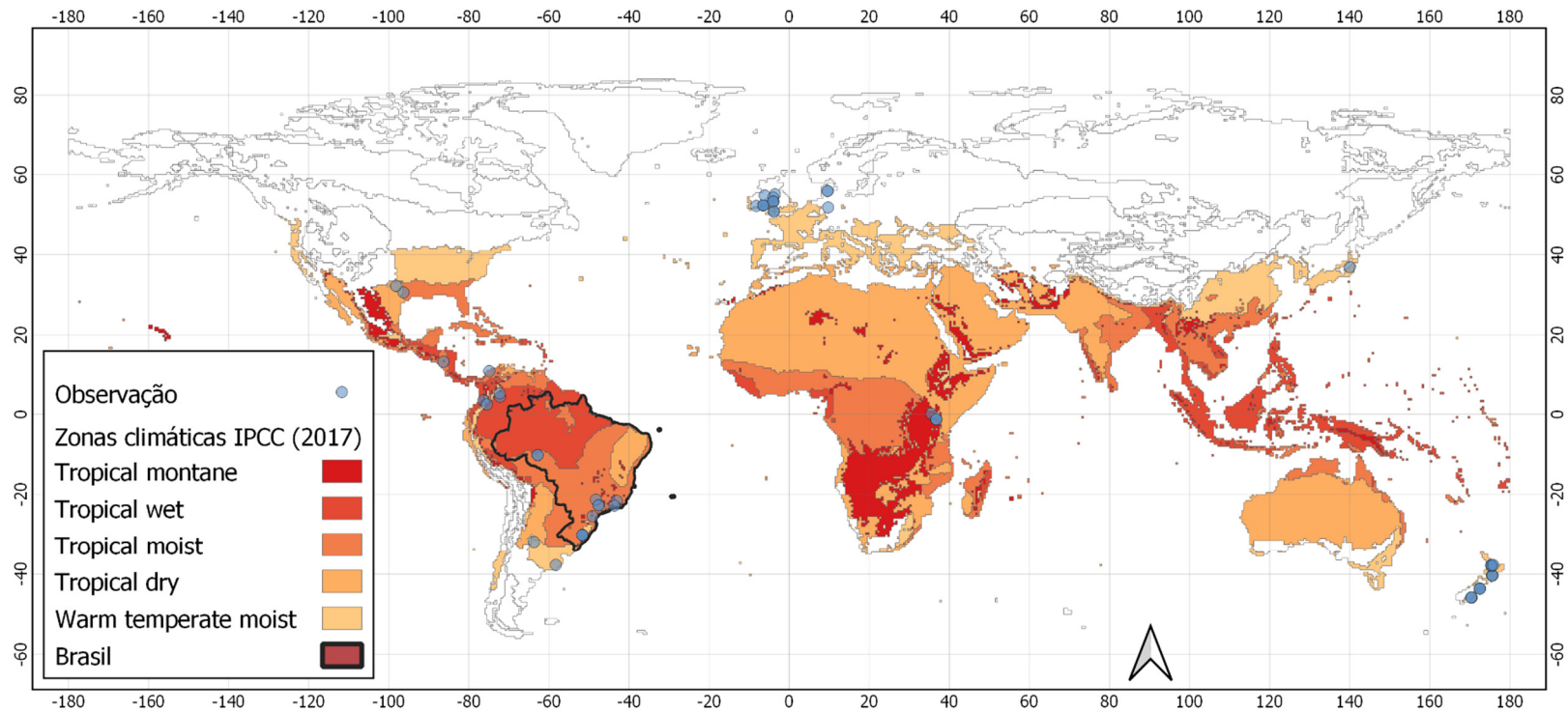
ZHU, Y.; BUTTERBACH-BAHL, K.; MERBOLD, L.; LEITNER, S.; PELSTER, D. E. Nitrous oxide emission factors for cattle dung and urine deposited onto tropical pastures: A review of field-based studies. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 322, n. September, p. 107637, dez. 2021a.

ZHU, Y.; MERBOLD, L.; LEITNER, S.; WOLF, B.; PELSTER, D.; GOOPY, J.; BUTTERBACH-BAHL, K. Interactive effects of dung deposited onto urine patches on greenhouse gas fluxes from tropical pastures in Kenya. **Science of The Total Environment**, v. 761, n. xxxx, p. 143184, mar. 2021b.

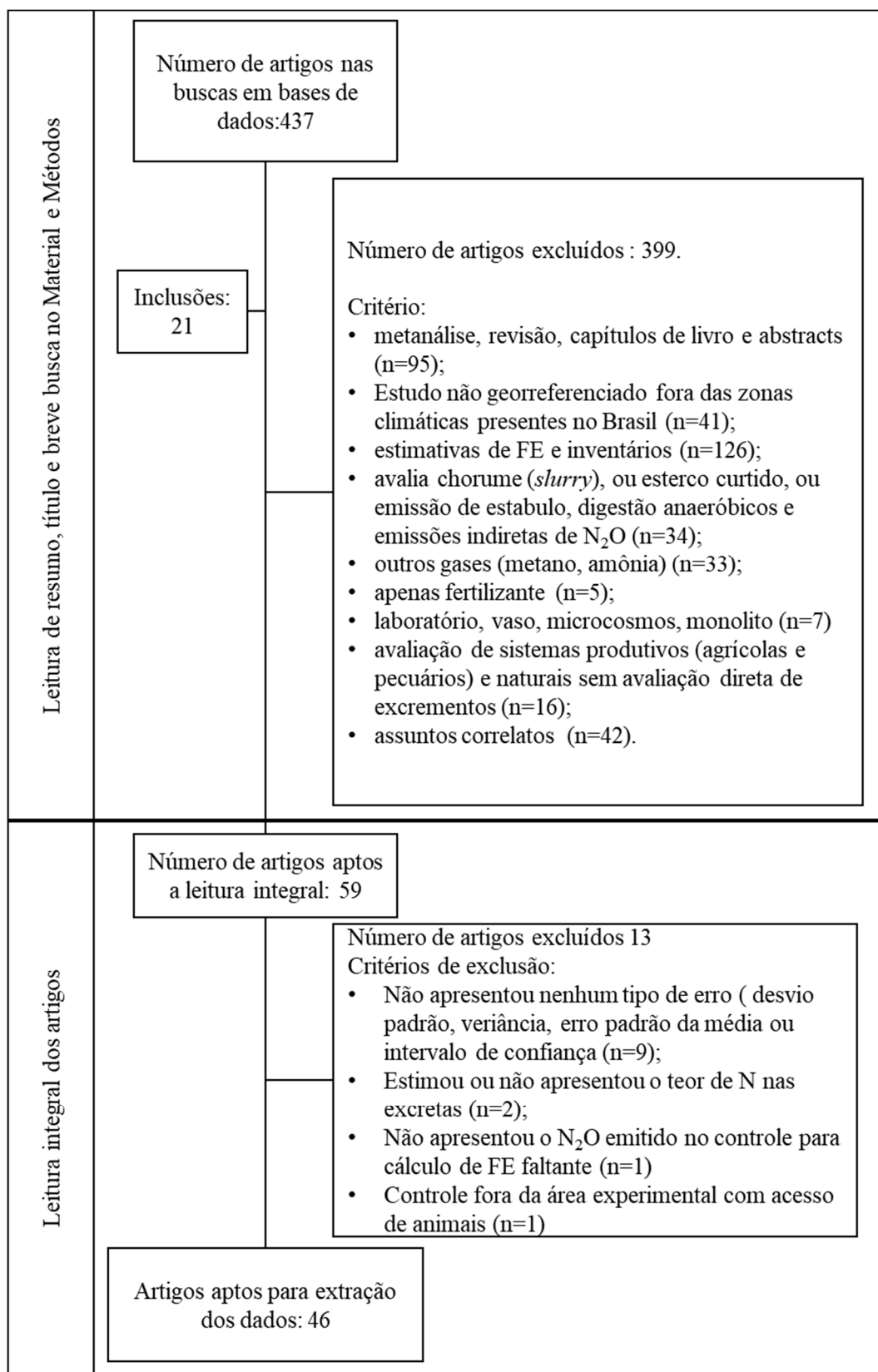
ZHU, Y.; MERBOLD, L.; LEITNER, S.; XIA, L.; PELSTER, D. E.; DIAZ-PINES, E.; ABWANDA, S.; MUTUO, P. M.; BUTTERBACH-BAHL, K. Influence of soil properties on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from excreta deposited on tropical pastures in Kenya. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 140, p. 107636, jan. 2020.

ZHU, Y.; MERBOLD, L.; PELSTER, D.; DIAZ-PINES, E.; WANYAMA, G. N.; BUTTERBACH-BAHL, K. Effect of Dung Quantity and Quality on Greenhouse Gas Fluxes From Tropical Pastures in Kenya. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 32, n. 10, p. 1589–1604, out. 2018.

## 7. APÊNDICES



**Figura 166.** Mapa com climas encontrados no Brasil e a localização dos fatores de emissão utilizados. Pontos azuis o locais das observações utilizadas nos estudos. No preenchimento em cores das áreas temos a classificação das zonas Climáticas do IPCC (2017). Delimitação do território brasileiro na feição com linha mais espessa.

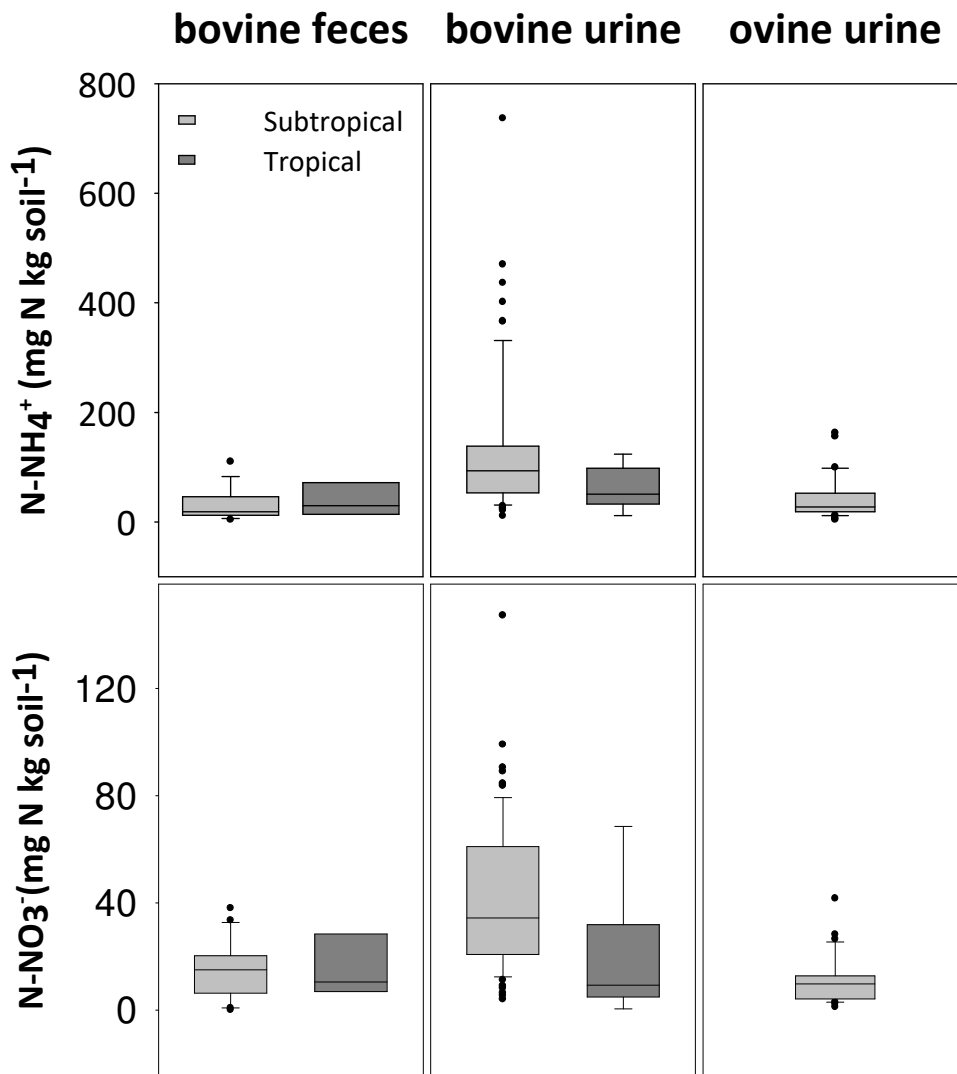


**Figura 177.** Fluxograma da revisão sistemática para elegibilidade ou exclusão.

**Tabela 17.** Critérios de equivalência para dados de solo.

Variável	Classe	Critério ou equivalência
Textura	Arenosa	Material que compreende as classes texturais areia e areia franca, ou seja, concentração de areia menos concentração de argila > 700 g·kg <sup>-1</sup>
	Média	Material com menos de 350 g kg <sup>-1</sup> de argila e mais de 150 g·kg <sup>-1</sup> de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca
	Argilosa	Material com conteúdo de argila maior de 350 g·kg <sup>-1</sup>
	Siltosa	Material com menos de 350 g·kg <sup>-1</sup> de argila e menos de 150 g·kg <sup>-1</sup> de areia
Drenagem	Bem drenado	Free-draining, well draining, Oxisols
	Moderadamente drenado	Moderately, moderately-well draining
	Mal drenado	Poorly draining, imperfect draining
Classe de solo	HAC	Alfisol, various lithic subgroups, Inceptisols, Chernozems
	LAC Latossolos	Oxisols
	LAC non-Latossolos	Ultisols, various lithic subgroups, Inceptisols, Ultisols
	Sandy soils	Psamment
	Wet soils	Plinthaquox or Plinthaquults, various aquic suborders, Entisols-Fluents
	Other	Ustalf or Ustoll, Aridisols, Udert or Ustert





**Figura 188.** Concentrações de nitrato e amônio no solo após a aplicação dos tratamentos de excreta e tipo de gado e clima tropical e subtropical.

**Tabela 18.** Informações bibliográficos dos artigos utilizados na revisão sistemática.

<b>ID</b>	<b>autor-ano-título</b>	<b>DOI</b>	<b>Revista</b>	<b>Pag.</b>	<b>Vol.</b>
1	Almeida et al. - 2020 - Carbohydrate-rich supplements can improve nitrogen use efficiency and mitigate nitrogenous gas emissions from th	10.1017/S1751731119003057	Animal	1184-1195	14
2	Baral et al. - 2014 - Controls of nitrous oxide emission after simulated cattle urine deposition	10.1016/j.agee.2014.02.029	Agriculture, Ecosystems & Environment	103-110	188
3	Barneze et al. - 2014 - Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil	10.1016/j.atmosenv.2014.04.046	Atmospheric Environment	394-397	92
4	Barneze et al. - 2015 - The effect of nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions from cattle urine depositions to grassland und	10.1016/j.chemosphere.2014.06.002	Chemosphere	122-129	119
5	Bell et al. - 2015 - Nitrous oxide emissions from cattle excreta applied to a Scottish grassland Effects of soil and climatic conditions	10.1016/j.scitotenv.2014.12.008	Science of The Total Environment	343-353	508
6	BHANDRAL et al. - 2007 - Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction	10.1016/j.still.2006.10.006	Soil and Tillage Research	482-492	94
7	Bol et al. - 2004 - Short-term N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> fluxes, and NC transfers in a Danish grass-clover pasture after simulated urine deposition	10.1002/jpln.200321334	Journal of Plant Nutrition and Soil Science	568-576	167

Continua...

Continuação da **Tabela 19.**

<b>ID</b>	<b>autor-ano-título</b>	<b>DOI</b>	<b>Revista</b>	<b>Pag.</b>	<b>Vol.</b>
8	Bretas et al. - 2020 - Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on <i>Brachiaria decumbens</i> growing in monoculture	10.1016/j.agee.2020.106896	Agriculture, Ecosystems & Environment	106896	295
9	Byrnes et al. - 2017 - Biological nitrification inhibition by <i>Brachiaria</i> grasses mitigates soil nitrous oxide emissions from bovine urine	10.1016/j.soilbio.2016.12.029	Soil Biology and Biochemistry	156-163	107
10	Cameron, Di, Moir - 2014 - Dicyandiamide (DCD) effect on nitrous oxide emissions, nitrate leaching and pasture yield in Canterbury, New	10.1080/00288233.2013.797914	New Zealand Journal of Agricultural Research	251-270	57
11	Cardoso et al. - 2018 - Effect of volume of urine and mass of faeces on N <sub>2</sub> O and CH <sub>4</sub> emissions of dairy-cow excreta in a tropical pasture	10.1071/AN15392	Animal Production Science	1079	58
12	Cardoso et al. - 2019 - Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer application	10.1016/j.still.2019.104341	Soil and Tillage Research	104341	194
13	Chirinda et al. - 2019 - Adequate vegetative cover decreases nitrous oxide emissions from cattle urine deposited in grazed pastures under	10.1038/s41598-018-37453-2	Scientific Reports	908	9
14	Clough et al. - 2009 - The mitigation potential of hippuric acid on N <sub>2</sub> O emissions from urine patches: An in situ determination of its effect	10.1016/j.soilbio.2009.07.032	Soil Biology and Biochemistry	2222-2229	41

Continua...

Continuação da Tabela 19.

<b>ID</b>	<b>autor-ano-título</b>	<b>DOI</b>	<b>Revista</b>	<b>Pag.</b>	<b>Vol.</b>
15	Dai et al. - 2013 - Effects of nitrogen application rate and a nitrification inhibitor dicyandiamide on ammonia oxidizers and N <sub>2</sub> O emissi	10.1016/j.scitotenv.2012.08.091	Science of The Total Environment	125-135	465
16	De Bastos et al. - 2020 - A 3-year assessment of nitrous oxide emission factors for urine and dung of grazing sheep in a subtropical eco	10.1007/s11368-019-02456-7	Journal of Soils and Sediments	982-991	20
17	de Klein et al. - 2014 - The effect of nitrogen concentration in synthetic cattle urine on nitrous oxide emissions	10.1016/j.agee.2014.02.020	Agriculture, Ecosystems & Environment	85-92	188
18	Durango Morales et al. - 2021 - Apparent Nitrogen Recovery in Milk and Early Dry Season Nitrous Oxide Emission Factors for Urine Deposit	10.3389/fsufs.2020.602657	Frontiers in Sustainable Food Systems	1-12	4
19	Hoefl et al. - 2012 - Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural gra	10.1016/j.agee.2012.01.029	Agriculture, Ecosystems & Environment	34-43	151
20	Hoogendoorn et al. - 2016 - Nitrous oxide emission factors for urine from sheep and cattle fed forage rape ( Brassica napus L.) or peren	10.1016/j.agee.2016.04.029	Agriculture, Ecosystems & Environment	11-23	227
21	Kelly, Phillips, Baigent - 2008 - Impact of dicyandiamide application on nitrous oxide emissions from urine patches in northern Victoria	10.1071/EA07251	Australian Journal of Experimental Agriculture	156	48

Continua...

Continuação da **Tabela 19.**

<b>ID</b>	<b>autor-ano-título</b>	<b>DOI</b>	<b>Revista</b>	<b>Pag.</b>	<b>Vol.</b>
21	Kim et al. - 2014 - Field studies assessing the effect of dicyandiamide (DCD) on N transformations, pasture yields, N <sub>2</sub> O emissions and	10.1080/00288233.2013.855244	New Zealand Journal of Agricultural Research	271-293	57
22	Klein et al. - 2003 - Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils	10.1071/SR02128	Soil Research	381	41
23	Krol et al. - 2015 - In situ N <sub>2</sub> O emissions are not mitigated by hippuric and benzoic acids under denitrifying conditions	10.1016/j.scitotenv.2014.12.074	Science of The Total Environment	362-368	511
24	Krol et al. - 2016 - Improving and disaggregating N <sub>2</sub> O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils	10.1016/j.scitotenv.2016.06.016	Science of The Total Environment	327-338	568
37	Pelster et al. - 2016 - Methane and Nitrous Oxide Emissions from Cattle Excreta on an East African Grassland	10.2134/jeq2016.02.0050	Journal of Environmental Quality	1531-1539	45
38	Schirmann et al. - 2020 - Nitrous oxide emission factor from cattle urine and dung in native grassland of the Pampa biome, South Brazil	10.1071/SR19095	Soil Research	198	58
39	Simon et al. - 2019 - The efficacy of <i>Plantago lanceolata</i> for mitigating nitrous oxide emissions from cattle urine patches	10.1016/j.scitotenv.2019.07.141	Science of The Total Environment	430-441	691

Continua...

Continuação da **Tabela 19.**

<b>ID</b>	<b>autor-ano-título</b>	<b>DOI</b>	<b>Revista</b>	<b>Pag.</b>	<b>Vol.</b>
40	Sordi et al. - 2014 - Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland	10.1016/j.agee.2013.09.004	Agriculture, Ecosystems & Environment	94-103	190
41	Taghizadeh-Toosi et al. - 2011 - Biochar Incorporation into Pasture Soil Suppresses in situ Nitrous Oxide Emissions from Ruminant Urine	10.2134/jeq2010.0419	Journal of Environmental Quality	468-476	40
42	Tomazi et al. - 2015 - Sheep Excreta as Source of Nitrous Oxide in Ryegrass Pasture in Southern Brazil	10.1590/01000683rbc20140497	Revista Brasileira de Ciência do Solo	1498-1506	39
43	Tully et al. - 2017 - Nitrous Oxide and Methane Fluxes from Urine and Dung Deposited on Kenyan Pastures	10.2134/jeq2017.01.0040	Journal of Environmental Quality	921-929	46
44	Wecking et al. - 2020 - Reconciling annual nitrous oxide emissions of an intensively grazed dairy pasture determined by eddy covariance	10.1016/j.agee.2019.106646	Agriculture, Ecosystems and Environment	106646	287
45	Zhu et al. - 2018 - Effect of Dung Quantity and Quality on Greenhouse Gas Fluxes From Tropical Pastures in Kenya	10.1029/2018GB005949	Global Biogeochemical Cycles	1589-1604	32
46	Zhu et al. - 2020 - Interactive effects of dung deposited onto urine patches on greenhouse gas fluxes from tropical pastures in Kenya	10.1016/j.scitotenv.2020.143184	Science of the Total Environment	143184	761

