

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> E NH<sub>3</sub> NAS EXCRETAS DE  
BOVINOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM PROTEÍNA  
NÃO DEGRADÁVEL NO RÚMEN DURANTE A RECRIA**

**Geovany Macêdo Carvalho**  
Zootecnista

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> E NH<sub>3</sub> NAS EXCRETAS DE  
BOVINOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM PROTEÍNA  
NÃO DEGRADÁVEL NO RÚMEN DURANTE A RECRIA**

**Geovany Macêdo Carvalho**

**Orientadora: Profa. Dra. Telma Teresinha Berchielli**

**Coorientadores: Dr. Abmael da Silva Cardoso**

**Dra. Juliana Duarte Messana**

**Dra. Liziane de Figueiredo Brito**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Zootecnia (Nutrição e Alimentação Animal).

C331e

Carvalho, Geovany Macedo

Emissão de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> E NH<sub>3</sub> nas excretas de bovinos de corte suplementados com proteína não degradável no rúmen durante a recria / Geovany Macedo Carvalho. -- Jaboticabal, 2021

68 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Telma Teresinha Berchielli

Coorientadora: Liziane de Figueiredo Brito

1. Gases estufa. 2. Óxido nitroso. 3. Amônia. 4. Metano. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> E NH<sub>3</sub> NAS EXCRETAS DE BOVINOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM PROTEÍNA NÃO-DEGRADÁVEL NO RÚMEN DURANTE A RECRIA**

**AUTOR: GEOVANY MACEDO CARVALHO**  
**ORIENTADORA: TELMA TERESINHA BERCHIELLI**  
**COORIENTADORA: LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO**  
**COORIENTADOR: ABMAEL DA SILVA CARDOSO**  
**COORIENTADORA: JULIANA DUARTE MESSANA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

*Liziane de Figueiredo Brito*

Pós-doutoranda LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

*Liziane de Figueiredo Brito*

Pós-doutoranda ANGÉLICA SANTOS RABELO DE SOUZA BAHIA (Participação Virtual)  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

*Liziane de Figueiredo Brito*

Dr. PABLO DE SOUZA CASTAGNINO (Participação Virtual)  
Melhoramento e Nutrição Animal / FMVZ - Unesp - Botucatu

Jaboticabal, 19 de março de 2021

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Geovany Macêdo Carvalho, nascido em Goiânia, Goiás, no dia 11 de março de 1994, filho de Joaquim Carvalho de Araújo e Maria Ivaneide da Silva Macêdo Carvalho. Possui graduação em Zootecnia pela Universidade do Estado de Mato Grosso, campus Pontes e Lacerda. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica do CNPq sob orientação da professora Dra. Jocilaine Garcia. Em Fevereiro de 2018 gradua-se Zootecnista e em Março do mesmo ano ingressa na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – Campus de Jaboticabal como bolsista de treinamento técnico. Em Agosto de 2018 ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia na área de nutrição e alimentação de ruminantes, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – Campus de Jaboticabal, sob a orientação da professora Dra. Telma Teresinha Berchielli, sendo bolsista CNPq.

## EPÍGRAFE

“Eu caminhei essa longa estrada para a liberdade. Mas eu descobri que depois de escalar uma grande montanha, há outras montanhas a serem vencidas. Eu descansei por um instante para apreciar a incrível vista que me cercava. Olhei para trás e vi a distância que percorri. Mas só posso descansar por um momento. Porque com a liberdade vêm outras responsabilidades. E sequer me atrevo a demorar a continuar. A minha caminhada ainda não terminou”.

Nelson Mandela

*O tempo é juiz dos humildes e carrasco dos arrogantes.*

*Thiago Nigro*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que é minha fortaleza, meu guia, que tem me iluminado e abençoado durante toda a minha caminhada.

Ao meu pai Joaquim e minha Mãe Neide que sempre se doaram, me apoiaram e acreditaram em mim e nos momentos mais difíceis continuaram a me incentivar para que hoje eu conseguisse vencer mais essa etapa, vocês são meu porto seguro, amo vocês, obrigado pela educação que me deram, isso será passado por gerações eu prometo!

À minha namorada, que com seu carinho e paciência me apoia, me dá forças e nos momentos mais turbulentos desses anos com sua simplicidade segurava a minha mão e me dizia “— vamos juntos, você não vai e não pode desistir agora, eu estou com você”, gratidão, amor e admiração são os nobres sentimentos que sinto por você.

À UNESP pela oportunidade de realização do curso Mestrado em Zootecnia. Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

A minha orientadora, professora Telma Teresinha Berchielli e em especial aos meus coorientadores Abmael da Silva Cardoso, Liziane de Figueiredo Brito e Juliana Duarte Messana, que me motivaram e aconselharam durante esses anos de pós-graduação, obrigado pela paciência e incentivo para concluir essa etapa.

Em nome do meu primo Ruan da Silva quero deixar os meus agradecimentos aos demais primos, vocês são demais.

Agradeço a todos os familiares e amigos que de alguma forma, se preocuparam, auxiliaram e em oração pediram pela minha proteção e que meus objetivos fossem alcançados.

Em nome do Gilberto Guerra venho expressar minha gratidão pela amizade e lealdade e muito obrigado e um forte abraço ao grupo Ídolo dos Ídolos, amizade de infância que perdura até hoje, agradeço o apoio de sempre.

A minha querida professora Dra. Jocilaine Garcia e família, minha segunda mãe, orientadora da graduação e da vida, obrigado por tudo, aquela ligação em Outubro de 2018 com todos os conselhos eu jamais vou esquecer.

Com um carinho especial quero agradecer a algumas pessoas que foram nossas bases em Jaboticabal, e que se tornaram parte da minha família Ronyatta, Maurício, Paulo, Maju, Mariane, Larissa, Gilmar e Yasmin.

Também não posso esquecer agradecer de coração aos meus amigos da Rep. 51, Devasso, Nono, Zé, Iago, Tite, Fernando e demais.

A minha família mineira, minha sogra Celma e meu sogro Elço, meus cunhados Wellisson e Wellinton e minha cunhada Larissa, não tenho palavras para agradecer vocês, minha gratidão a Deus por ter vocês na minha vida.

Aos meus amigos do Mato Grosso. Em especial aqueles que se tornaram meus irmãos de coração: Gisele Ribeiro, Sheslei (*in memoriam*), Alan, Phillipe, Valtencir (Nardoni), Vinicius Xavier, Eduardo Vinicius, Leonardo (Mano), Kaysa, Flávio (Mandela), Leomar (Pink), Junin, Ilda, Camila.

À toda equipe do Setor de Digestibilidade e Avaliação de Alimentos pela dedicação para a conclusão deste projeto: Ana Verônica, Karine, Kenia, Paloma, Larissa, Juliana e Vinicius.

Aos funcionários Vlademir, Servidone e Uanderson. E aos estagiários que tanto se dispuseram a me ajudar durante o meu período na Unesp: Elizabeth, Maria Julia, Paulo, Thayná, Yasmin, William, Bruna, Raquel, Thamiris, Ilda, Jayne e Juliana.

Aos meus caros amigos do setor de Forragicultura e Pastagem e Bovinos de Corte.

Aos funcionários do LANA Ana Paula e seu Orlando, que tanto me auxiliaram e me ajudaram, obrigado pelo carinho, conversas e brincadeiras.

A todos que aqui não citados mais que colaboraram de alguma forma para minha formação profissional, muito obrigado!

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>13</b>
<b>1 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
SUPLEMENTAÇÃO PROTEICA .....	15
METANO (CH <sub>4</sub> ).....	18
ÓXIDO NITROSO (N <sub>2</sub> O) .....	19
AMÔNIA (NH <sub>3</sub> ).....	22
<b>2 OBJETIVO .....</b>	<b>24</b>
<b>3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 2 - EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> E NH<sub>3</sub> NAS EXCRETAS DE BOVINOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM PROTEÍNA NÃO-DEGRADÁVEL NO RÚMEN DURANTE A RECRIA .....</b>	<b>31</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
AVALIAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, EMISSÃO DE N <sub>2</sub> O E CH <sub>4</sub> NAS EXCRETAS ..	38
AVALIAÇÃO DA VOLATILIZAÇÃO DE NH <sub>3</sub> .....	41
COLETAS E ANÁLISES DO SOLO.....	42
ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS GASES DE EFEITO ESTUFA.....	42
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
3.1. VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA .....	43
3.2. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....	45
<b>3.2.1. Variáveis climáticas .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.2. Umidade do solo e N mineral .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.3 Emissão de metano.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.3 Emissão de óxido nitroso.....</b>	<b>53</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
4.1 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA .....	57
4.2 EMISSÕES DE CH <sub>4</sub> .....	59
4.3 ÓXIDO NITROSO.....	61
<b>5.CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e NH<sub>3</sub> NAS EXCRETAS DE BOVINOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM PROTEÍNA NÃO-DEGRADÁVEL NO RÚMEN DURANTE A RECRIA

**RESUMO** - A atividade pecuária no Brasil tem um importante papel em atender a demanda mundial por alimento, contudo, o setor é responsável por emitir uma quantidade considerável de gases de efeito estufa (GEE) e amônia. A excreção de N através das fezes e urina dos ruminantes são fontes principalmente de óxido nitroso e amônia, e a nutrição pode ser uma estratégia na redução da emissão destes gases. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso da suplementação com proteína não degradável no rúmen (PNDR) nas emissões de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e NH<sub>3</sub> das fezes e urina de bovinos de corte na fase de recria em *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. A área de avaliação da emissão de gases possuía 0,8 ha formados por pastagem de capim *Urochloa brizantha* cv. Xaraés, que foi excluída do acesso dos animais 6 meses antes da aplicação dos tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o DBC (delineamento em blocos casualizados), com 5 blocos (local de aplicação da excreta no solo), em esquema fatorial (2 x 2 x 2), com 2 tipos de suplementos na alimentação do animal (suplementação com sal mineral *ad libitum* ou com glúten de milho a 0,3% do peso vivo como fonte de PNDR + sal mineral *ad libitum*), 2 fontes de emissão de gases (urina e fezes) e 2 períodos de aplicação das excretas (meio e fim da recria). As fezes e urinas implantadas no solo foram coletadas de novilhos Nelore, mantidos em pastagem de capim *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e suplementados, conforme tratamentos descritos anteriormente, as 09h00m. As amostragens das excretas dos animais dos tratamentos ocorreram em dois períodos, meio (Janeiro) e fim (Março) da fase de recria dos animais e as aplicações ao solo em Fevereiro (Meio) e Abril (Fim). Foram incluídas 5 câmaras sem a aplicação de fezes ou urina para avaliar as emissões derivadas do sistema solo e liteira que foram deduzidas dos tratamentos (emissão basal do solo). Deste modo, a área experimental era constituída de 25 parcelas. Cada câmara de avaliação das emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> constitui uma parcela. Em outras duas áreas próximas às parcelas de avaliação de gases, com mais 25 parcelas cada, foram também implantados os mesmos tratamentos ao solo, nas mesmas datas para amostragem de solo e para avaliação de amônia volatilizada. Houve uma tendência a interação entre tipo de suplemento, período da recria e tipo de excreta sobre o fator de emissão de NH<sub>3</sub> (P = 0,0585). A urina dos animais que receberam ou não suplementação com PNDR apresentaram maiores perdas de N na forma de NH<sub>3</sub> no fim da recria em relação ao observado no meio do período de recria, sendo também superiores às perdas de N via fezes, as quais não apresentaram diferença entre os tipos de suplemento e períodos de avaliação. A emissão acumulada de CH<sub>4</sub> foi afetada pelo período (P = 0,0319), entretanto, não foi observado efeito dos tipos de excretas (P = 0,1607) e tipos de suplementos (P = 0,1143) e interações. No período do meio da recria foi observada maior emissão acumulada de CH<sub>4</sub>, quando comparada com a emissão acumulada de CH<sub>4</sub> no fim da recria. Os fatores de emissão das fezes não foram afetados pelo período (P = 0,1381), tipo de suplemento (P = 0,5262) e interação. A emissão de N<sub>2</sub>O não foi afetada pelos períodos (P = 0,4698), tipos de excretas (P = 0,8265), tipos de suplementos (P = 0,8707) e interações. Os fatores de emissão de N<sub>2</sub>O não foram afetados pelos períodos (P = 0,4492), tipos de excretas (P = 0,7575), tipos de suplementos (P = 0,7411) e interações. Conclui-se que efeito da suplementação de bovinos de corte na fase de recria com PNDR sobre as

emissões de  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  é dependente do período e tipo de excreta. Porém não foram observados efeitos sobre a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ . Os fatores de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  das excretas de bovinos de corte na fase de recria estão abaixo dos valores preconizados pelo IPCC, superestimando a quantidade emitida pela atividade em nossas condições de criação em clima tropical.

**PALAVRAS CHAVE:** Gases de efeito estufa, óxido nitroso, amônia, proteína metabolizável

**EMISSION OF N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> AND NH<sub>3</sub> IN EXCRETAS OF BEEF CATTLE  
SUPPLEMENTED WITH RUMINAL UNDEGRADABLE PROTEIN IN THE RUMEN  
DURING REARING PHASE**

**ABSTRACT** - The livestock activity in Brazil has an important role in meeting the world demand for food, however, the sector is responsible for emitting a considerable amount of greenhouse gases (GHG) and ammonia. The excretion of N through the feces and urine of ruminants are mainly sources of nitrous oxide and ammonia, and nutrition can be a strategy to reduce the emission of these gases. The aim of this study was to evaluate the effect of using supplementation with non-degradable rumen protein (RUP) on N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and NH<sub>3</sub> emissions from the feces and urine of beef cattle during the rearing phase in *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. The gas emission assessment area had 0.8 ha formed by pasture grass *Urochloa brizantha* cv. Xaraés, who was excluded from the animals' access 6 months before the treatments were applied. The experimental design used was the DBC (randomized block design), with 5 blocks (place of application of excreta in the soil), in a factorial scheme (2 x 2 x 2), with are 2 types of supplements in the animal's diet (supplementation with salt mineral ad libitum or with corn gluten at 0.3% of live weight as a source of RUP + mineral salt ad libitum), 2 sources of gas emissions (urine and faeces) and 2 application of periods of excreta (middle and end of application) recreates). The feces and urine implanted in the soil were collected from Nelore steers, kept in *Urochloa brizantha* cv. Xaraés and supplements, according to treatments described above, at 9:00 am. The sampling of the animals' excreta from the treatments occurred in two periods, half (January) and end (March) of the animals' rearing phase and the applications to the soil in February (Middle) and April (End). Five chambers were included without the application of faeces or urine to assess the emissions derived from the soil and litter system that were deducted from the treatments (basal emission from the soil). In this way, the experimental area consisted of 25 plots. Each N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions assessment chamber constitutes a portion. In two other areas close to the gas assessment plots, with a further 25 plots each, the same soil treatments were also implemented, on the same dates for soil sampling and for the evaluation of volatilized ammonia. There was a tendency for interaction between type of supplement, breeding period and type of excreta on the NH<sub>3</sub> emission factor (P = 0.0585). The urine of animals that received or did not receive RUP supplementation showed greater losses of N in the form of NH<sub>3</sub> at the end of the rearing than in the middle of the rearing period, also being higher than the losses of N via faeces, which showed no difference. between supplement types and evaluation periods. The accumulated CH<sub>4</sub> emission was affected by the period (P = 0.0319), however, there was no effect of the types of excreta (P = 0.1607) and types of supplements (P = 0.1143) and interactions. In the middle of the rearing period, a greater accumulated CH<sub>4</sub> emission was observed, when compared to the accumulated CH<sub>4</sub> emission at the end of the rearing. The emissions factor of faeces was not affected by the period (P = 0.1381), type of supplement (P = 0.5262) and interaction. N<sub>2</sub>O emissions were not affected by periods (P = 0.4698), types of excreta (P = 0.8265), types of supplements (P = 0.8707) and interactions. The emissions factors N<sub>2</sub>O were not affected by periods (P = 0.4492), types of excreta (P = 0.7575), types of supplements (P = 0.7411) and interactions. It is concluded that the effect of supplementation of beef cattle in the rearing phase with RUP on NH<sub>3</sub> and CH<sub>4</sub>

emissions is dependent on the period and type of excreta. However, no effects on N<sub>2</sub>O emission were observed. The emission factors of N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> and CH<sub>4</sub> from the excreta of beef cattle in the rearing phase are below the values recommended by the IPCC, overestimating the amount emitted by the activity in our conditions of breeding in a tropical climate.

**KEY WORDS:** Greenhouse gases, nitrous oxide, ammonia, metabolizable protein

## CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1 INTRODUÇÃO

As pastagens são os meios mais econômicos quando se pensa em alimentação de ruminantes no Brasil, pois pode ser cultivada na propriedade e ser diretamente colhida pelos animais. A pecuária nacional apresenta algumas vantagens quanto ao sistema de criação em pastagem, como competitividade econômica e potencial de atender a demanda dos mercados mais exigentes quanto à produção de carne em condições naturais (pastagem) (Cabral et al., 2011).

Forragens bem manejadas apresentam alta qualidade nutricional no período das águas, por apresentarem maior quantidade de folhas verdes e maior teor de proteico, o que resulta em aumento da digestibilidade. Porém, com a escassez de água, característica de climas tropicais, em determinadas épocas do ano, há um reduzido crescimento da planta com um aumento do teor de parede celular e diminuição significativa do teor proteico, que resultam em lenta digestibilidade ou indigestibilidade da fração fibrosa, sendo evidente efeito negativo no ganho de peso e atraso na idade de abate dos animais de produção (Reis et al., 2011).

Os ruminantes se destacam por sua capacidade de transformar alimentos que não são aproveitados na alimentação humana em proteína qualidade como carne e leite. Porém, nem todos os nutrientes do alimento ingerido são retidos pelo animal, principalmente o nitrogênio, sendo aproximadamente 75% excretado através das fezes e urina (Calsamiglia et al., 2010). Os dejetos produzidos por esses animais são lançados diretamente no solo atuando como fontes de emissão de GEE. Esta emissão pode ser causada pela ação do N contido nas fezes e principalmente na urina que é a maior fonte de perdas N na forma de  $N_2O$  e  $NH_3$  (Cardoso et al., 2019). Parte do N excretado que chega ao solo será utilizado pela forragem e o excedente será perdido através de lixiviação, emissão de GEE e volatilização de  $NH_3$  (Piovesan et al., 2009) o que tem rotulado a atividade como vilã do meio ambiente, fato que desafia pesquisadores a encontrar meios de mitigar as emissões destes gases pela pecuária (Ruggieri et al., 2015).

Dentre as estratégias utilizadas para melhorar a eficiência de N pelo animal, há a suplementação com a proteína não-degradável no rúmen (PNDR) que pode ser uma maneira eficaz de melhorar o aproveitamento do N fornecido ao animal, melhorando

o desempenho produtivo com redução das emissões de GEE do setor pecuário (Hoffmann, 2019; Koenig, et al., 2018).

No entanto, alguns cuidados devem ser tomados na adoção de estratégias alimentares para redução da emissão de GEE para não ocorrer o “efeito de troca de poluição”, onde os possíveis efeitos benéficos de uma estratégia podem ser anulados por outros efeitos negativos. Alterações da dieta, por exemplo, podem provocar a troca de poluição, onde a redução do N na dieta para mitigar as emissões de  $N_2O$  da deposição das excretas no solo, pode aumentar a emissão de  $CH_4$  entérico, devido ao aumento da ingestão de carboidratos (Hristov et al., 2013).

A variação na composição e utilização da dieta pelo animal resulta em diferentes taxas de emissão de  $CH_4$  e  $N_2O$ , principais GEE produzidos a partir das excretas dos bovinos. A emissão destes gases está ligada a condições do ambiente, tipo de manejo e composição das excretas e o teor de matéria orgânica (MO) e N, fatores que influenciam as emissões gasosas do  $CH_4$  e  $N_2O$  (Grossi et al., 2019). As diferenças na composição química das forragens que os animais consomem, influenciam a composição química das fezes (relações C/N e lignina/N) e, portanto, o carbono (C) disponível, que também pode afetar as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  no solo (Cardoso et. al., 2019).

As emissões de  $CH_4$  de excretas ocorrem através da degradação das fezes, por meio da ação de microrganismos metanogênicos, que utilizam os resíduos orgânicos (ácidos graxos) na ausência de oxigênio e produzem  $CO_2$  e  $CH_4$  (González-Avalos e Ruiz-Suárez, 2001).

Um ambiente anaeróbio com temperaturas e umidade elevadas pode aumentar a produção de  $CH_4$ , por proporcionar condições favoráveis aos microrganismos produtores de  $CH_4$ . Já a produção de  $N_2O$  é dependente de combinações de condições aeróbias e anaeróbias, produto da nitrificação e desnitrificação do N contido nas excretas. Assim quando as fezes se encontram depositadas em pastagens, geralmente em condições sólidas, a produção de  $N_2O$  aumenta enquanto pouco ou nenhum  $CH_4$  é emitido (Grossi et al., 2019).

Além das emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$ , também podem ocorrer a perda de N na forma de  $NH_3$ . O processo de volatilização de  $NH_3$  acontece quando a ureia presente nas excretas, depositada na superfície do solo, é hidrolisada pela ação da enzima urease, produzida pelos microrganismos do solo. Essa rápida hidrólise consome íons hidrogênio ( $H^+$ ) e provoca aumento do pH do solo, nas regiões próximas aos locais

onde há presença de excretas. O aumento transitório do pH altera o equilíbrio entre o  $\text{NH}_4^+$  e a  $\text{NH}_3$  no solo, sendo que o maior o pH na zona de aplicação, aumenta o potencial de volatilização do  $\text{NH}_3$  (Vieira, 2017).

Mediante o exposto, busca-se o equilíbrio entre aumento de produtividade e redução de impactos ambientais causados pela pecuária de corte no Brasil, o qual só será alcançado com o desenvolvimento de tecnologias e estratégias que potencializem o manejo nutricional (Berndt, 2012) e a eficiência de utilização de nutrientes pelo animal. Entretanto, os dados da literatura sobre os efeitos da suplementação com PNDR nas emissões de GEE e volatilização de  $\text{NH}_3$  em sistema de pastagem de clima tropical ainda são limitados.

#### SUPLEMENTAÇÃO A PASTO

As forragens são a base da alimentação e produção de bovinos criados no Brasil. Mediante um manejo adequado do sistema (solo x planta) as forragens podem apresentar um elevado valor nutricional e melhorar o desempenho dos animais em pastejo no período das águas. Todavia, a forragem ainda pode apresentar um desbalanço de nutrientes para atender todas as exigências do animal para máxima produção, assim a suplementação no período das águas, pode ser uma alternativa que permite ganhos adicionais (Zervoudakis et al., 2002), que resultam em redução do tempo de abate (Cabral et al., 2008; Hoffmann, 2019).

No período das águas, gramíneas tropicais manejadas corretamente possuem altos teores de proteína bruta (PB), com grande proporção das frações A que corresponde ao nitrogênio não-proteico, a fração B1 é composta por proteínas solúveis de rápida degradação e a fração B2 é composta por proteínas insolúveis de degradação intermediária, assim como fibra de alta qualidade (folhas verdes), não exigindo o fornecimento adicional de energia via suplementos para aumentar a incorporação de N no rúmen na forma de proteína microbiana. Entretanto, quando se objetiva aumentar o ganho de peso dos animais, a suplementação é essencial (Hoffmann, 2019).

Todavia existem situações de pastejo em que há excesso PB, principalmente da fração PDR, o que pode promover excesso de amônia ruminal, resultado da falta de sincronismo entre a degradação da proteína e a liberação de energia oriunda da fração fibrosa, podendo reduzir a síntese de proteína microbiana (Davies et al., 2005).

A amônia ruminal é absorvida via epitélio e convertida em ureia no fígado, que retorna ao rúmen através da saliva ou via epitélio, e a parte que não for aproveitada pelos microrganismos é excretada via urina, aumentando os impactos ambientais provocados pela eliminação do N no meio ambiente.

Os ruminantes possuem uma baixa eficiência em reter o N consumido, em torno de 25%, e diminuir as perdas de N resultante da ineficiência de utilização de proteína tem sido o foco de pesquisas em todo o mundo, pelo fato do alto preço dos alimentos proteicos e os danos ambientais decorrentes da produção de  $N_2O$  e  $NH_3$  (Calsamiglia et al., 2010, Siniscalch, 2020).

A eficiência de utilização do nitrogênio da dieta pode ser afetada pela composição da dieta ofertada a esses animais e está afeta diretamente as excreções de N. Reduções da PB na dieta podem diminuir as perdas de N urinário de bovinos, porém deve-se ter cautela com as modificações na quantidade de proteína da dieta, pois essas podem causar alterações na digestibilidade total dos nutrientes principalmente na digestibilidade da fibra, causados por mudanças na atividade microbiana no rúmen (Lee et al., 2012). Portanto, é fundamental que as exigências em PDR e PNDR sejam atendidas, visto que, a proteína microbiana pode suprir em 50% ou mais da proteína metabolizável (PM) exigida por bovinos de corte (BR CORTE, 2016), como também a utilização da suplementação com fontes dietéticas de PNDR que atendam a exigência do animal em aminoácidos (AA) e maximize o desempenho e reduzindo as perdas urinárias de N de bovinos em pastejo (Camargo, 2020).

Em um estudo realizado a partir de dados de cinco experimentos com bovinos recebendo uma dieta com grande quantidade de proteína, Kebreab et al. (2002) observou aumento de N das excretas, principalmente na urina. Quando esses animais foram alimentados com dietas com menor quantidade de PDR e maior quantidade de PNDR, apresentaram redução do N urinário e a maior excreção de N via fezes, mostrando que a manipulação da dieta com uso de fontes alimentares com PNDR, pode ser uma estratégia com efeitos positivo nas excreções de N (Kebreab et al. 2002).

Em ruminantes, os nutrientes fornecidos na dieta diferem dos absorvidos, uma vez que na passagem pelo rúmen esses alimentos sofrem ações dos microrganismos, produzindo ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) como fonte de energia e proteína de origem microbiana para o animal. No entanto, a fração de proteína que passa para

intestino para ser metabolizada pelo animal é de origem microbiana e alimentar, que não foi degradada no rúmen proteína metabolizável (PM) (Carneiro, 2020).

No período das águas a suplementação com fontes de PNDR pode ser uma alternativa por melhores resultados na sincronia entre energia e proteína, pois nesse período do ano pastos bem manejados apresentam maior proporção de conteúdo celular, o que eleva a quantidade de proteína de rápida degradação. Logo, a PNDR pode aumentar o aporte de PM sem aumentar a quantidade de amônia ruminal, a fim de prevenir perdas urinárias de N (Dijkstra et al., 2011; Koenig e Beauchemin, 2018).

Assim, o uso estratégico de suplementos com frações menos digestíveis no rúmen pode aumentar a eficiência de utilização de N e evitar perdas de N pelo animal, por maximizar o aporte de AA que chegam ao intestino delgado melhorando a produtividade do sistema de criação (Lapierre et al., 2006; Atkinson et al., 2007; Hoffmann, 2019). Fontes de PNDR que possuem maior digestibilidade intestinal e perfil de AA adequado, podem otimizar o uso da PM (Cabral et al., 2001; Alves, 2004) e reduzir a excreção de N, sem afetar negativamente o processo de fermentação ruminal, visto que a PNDR pode aumentar a reciclagem de N (Dijkstra et al., 2011).

Por outro lado a inclusão de PNDR pode aumentar o N fecal, uma vez que a fonte utilizada pode apresentar N indigestível, o qual pode aumentar conforme o consumo de suplemento, taxa de passagem e fonte proteica utilizada na suplementação podem favorecer a excreção do N nas fezes (Kebreab et al., 2002).

Tecnologias como aquecimento, que diminuem a degradação ruminal devido à desnaturação das proteínas e diminuição da sua solubilidade e por reações químicas como *Maillard* e uso de agentes químicos que pode alterar a estrutura da proteína, introduzir ligações cruzadas e vincular as mesmas sem alterar sua estrutura são alternativas para diminuir a degradação da proteína no rúmen e aumentar a fração de PNDR do alimento (Malacco, 2016; Broderick et al., 1991).

O glúten de milho 60 é um subproduto seco, obtido após a remoção da maior parte do amido e, do gérmen e da separação do farelo pelo processo utilizado na produção do amido de milho ou xarope, através da moagem úmida do milho, apresenta elevado teor de PB 64%, 36% PDR e 60% PNDR (Santos, 2004; Valadares Filho, 2015). O alto teor de proteína, superior a maioria dos suplementos proteicos de origem vegetais, com alta digestibilidade e grande quantidade de PNDR torna o produto interessante na composição de rações de diversas categorias animais (Santos, 2004), porém, possui perfil de AA desequilibrado (Souza et al., 2020).

A manipulação da dieta é uma medida que pode reduzir a excreção de N dos ruminantes, e ajudar a reduzir fontes potenciais de GEE. Há trabalhos que demonstraram que a PNDR pode alterar a rota de excreção do N, (Koenig e Beauchemin, 2018), como também, diminuir a quantidade de N excretado e melhorar a eficiência de utilização (Atkinson et al., 2007; Wickersham et al., 2009; Montes et al., 2013). No entanto, mais estudos são necessários a fim de elucidar os fatores positivos da PNDR sobre as emissões de GEE.

#### METANO (CH<sub>4</sub>)

A produção de CH<sub>4</sub> via fezes ocorre pela ação dos microrganismos metanogênicos conhecidos como *Archaeas*, esses utilizam o CO<sub>2</sub>, hidrogênio e ácidos orgânicos como o formato para produzir o CH<sub>4</sub> que são disponibilizados a partir da decomposição dos dejetos excretados pelos animais e depositados diretamente na pastagem. Cerca de 10 a 15% do CH<sub>4</sub> produzido por bovinos são originados a partir das fezes e o restante é produzido pela fermentação entérica (Holter, 1997; Machado et al., 2011).

A produção de CH<sub>4</sub> a partir das fezes é menor que o CH<sub>4</sub> entérico, pois os dejetos depositados nas pastagens secam rapidamente devido às condições ambientais; quando esses microrganismos metanogênicos se encontram em condições que favoreçam a anaerobiose essa produção pode ser elevada (Pedreira e Primavesi, 2006). A quantidade de CH<sub>4</sub> gerado por um sistema de produção é afetada pelo acúmulo de sólidos voláteis, pela extensão das condições anaeróbias presentes, pela temperatura e pelo tempo de retenção de material orgânico no sistema (IPCC, 2019).

A temperatura é um dos parâmetros que desempenha uma grande influência na produção de CH<sub>4</sub>, e afeta diretamente a atividade biológica dos microrganismos, como velocidade de crescimento dos microrganismos e o grau de utilização do substrato. A temperatura mais adequada ao crescimento dos microrganismos anaeróbios está entre 37 e 42°C, e sob temperatura abaixo de 25°C, a velocidade de degradação da matéria orgânica decresce acentuadamente (Rohstoffe, 2010).

Outro fator que afeta a produção do CH<sub>4</sub> é a qualidade nutricional dos alimentos fornecidos aos animais, uma vez que alimentos mais fibrosos produzem dejetos com

menor velocidade de decomposição e maior potencial de produção de CH<sub>4</sub> (González-Avalos e Ruiz-Suárez, 2001; Orrico Junior et al., 2012).

Kreuzer e Hindrischen (2006) relataram redução do CH<sub>4</sub> emitido por fezes de bovinos alimentados com forragem contendo alto teor de PB. Porém, quando se elevou a PB da dieta com adição de concentrado também houve um ligeiro aumento das emissões, sugerindo que o N em si não é um fator limitante na formação de CH<sub>4</sub> das fezes, mas sim a relação C/N. A composição das fezes com elevado C orgânico e baixa relação C/N pode resultar em aumento nas emissões de metano, porque favorecem a atividade dos microrganismos responsáveis pela elevação das temperaturas, e a aceleração do processo de degradação dos resíduos orgânicos (Kreuzer e Hindrischen, 2006).

Alguns estudos realizados em clima tropical quantificaram as emissões de CH<sub>4</sub> de fezes de bovinos de corte em pastagem. Cardoso et al. (2017) encontraram valores de emissão que chegam a 0,54 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e Mazzeto et al. (2014) 0,1 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Já o IPCC (2019) sugere que as emissões de fezes bovinas nessas condições sejam de 1 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em sistemas de alta produtividade.

## ÓXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O)

As emissões de N<sub>2</sub>O ocorrem naturalmente nos solos, mas também são gerados a partir de fontes antrópicas, como uso de fertilizantes nitrogenados orgânicos / inorgânicos e dejetos dos animais de criação (Grossi et al., 2019). Esse gás possui um potencial de aquecimento 265 vezes maior que o CO<sub>2</sub> num horizonte de 100 anos (IPCC, 2019). As concentrações atmosféricas têm aumentado anualmente a uma taxa de 1,8%, acredita-se que esse aumento seja provocado por ações humanas. As fontes agrícolas representam cerca de 80% de todas as emissões antrópicas deste gás (Saggar, 2010).

Estima-se que no Brasil as emissões de N<sub>2</sub>O derivadas do setor agropecuário, cheguem a 50,4% do total emitido (BRASIL, 2016). Tal produção é resultado de transformações microbianas de compostos nitrogenados, por processos de nitrificação e desnitrificação do N contido nas excretas, principalmente na urina.

Do N presente fezes dos bovinos em pastejo apenas 3% do N total está na forma inorgânica, ou seja, prontamente disponível para absorção das plantas ou

mesmo ser perdido na forma de  $N_2O$ . Portanto, é necessário a mineralização do N orgânico contido na placa de fezes para que o N seja disponibilizado e ocorra a emissão de  $N_2O$ , porém esse N pode estar ligado a componentes estruturais de difícil degradação, material fibroso e indigestível (celulose, hemicelulose e lignina), restringindo a atividade microbiana na placa de fezes (Braz et al. 2002).

Os dejetos produzidos pelos animais de criação além de adicionar N ao solo aumentam a quantidade de C no solo, necessário para o metabolismo dos microrganismos heterotróficos desnitrificadores (Vieira, 2017).

O processo de nitrificação ocorre aerobiamente e converte  $NH_4^+$  e  $NH_3$  em  $NO_2^-$  e depois  $NO_3^-$ . Nesse processo ocorre a oxidação do  $NH_4^+$ , que nos substratos estão presentes na forma de  $NH_3$ , que continua sofrendo alterações, convertendo-se em nitrito  $NO_2^-$  e, subsequentemente, para nitrato ( $NO_3^-$ ) (Moreira e Siqueira, 2006), enquanto a desnitrificação ocorre anaerobiamente convertendo nitratos em  $N_2O$  e  $N_2$  (Saggar, 2010).

O nitrato oriundo da nitrificação é, em geral, a forma predominante de N em solos cultivados bem aerados, porém, após a adição de fertilizantes amoniacais e em solos ácidos, esse predomínio ocorre um curto período (Vieira, 2017).

A desnitrificação é o processo de redução do  $NO_3^-$  para  $N_2O$ , e  $N_2$ , processo que é realizado por bactérias anaeróbias facultativas. Esse processo representa a principal via de perda de N do solo para a atmosfera e pode ser afetado por fatores como umidade, temperatura, pH, teor de nitrato e porosidade do solo (Moreira e Siqueira, 2006).

A umidade talvez seja o fator de maior influência na emissão do  $N_2O$ . O excesso de umidade favorece a produção de  $N_2O$  devido ao preenchimento dos espaços porosos do solo, favorecendo o processo de desnitrificação. A porosidade preenchida por água acima de 60% favorece a formação de micro-sítios de anaerobiose devido à dificuldade de difusão de  $O_2$ , e quando esse preenchimento dos poros está entre 35 e 60% favorecem o processo de nitrificação (BASTOS, 2018).

Em estudo realizado por Lessa (2011), que avaliou as emissões de  $N_2O$  de fezes e urina de bovinos, em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandú em solo de cerrado, observou que logo após a implantação das excretas e fortes chuvas, ocorreram altos fluxos de  $N_2O$ . Esse autor conclui que as emissões foram influenciadas pelas chuvas devido a alterações na saturação do espaço poroso do

solo, que se manteve em torno de 60%, que de acordo com Moreira e Siqueira (2006) a partir de 60% ocorre o processo de desnitrificação, acentuando-se com 80%.

Outro fator que afeta diretamente as emissões de  $N_2O$  é a variação da temperatura. Temperaturas elevadas aumentam a taxa de respiração do solo e as zonas de anaerobiose, o que torna um maior volume do solo desprovido de  $O_2$  elevando a taxa de desnitrificação (Smith et al., 2003).

O pH está intrinsecamente ligado a atividade dos microrganismos, principalmente a limitações enzimáticas. Solos ácidos reduzem a disponibilidade de mineralização orgânica, processo responsável pela transformação de materiais orgânicos em substâncias orgânicas (como os ácidos orgânicos e húmus) ou mineralizadas (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , etc) (Hernani et al., 1998), o que resulta em uma população de microrganismos reduzida, e conseqüentemente um componente desnitrificante menor, porém em solos com pH entre 6 e 8 as bactérias desnitrificantes tem seu crescimento otimizado, acentuando o processo de desnitrificação (Simek e Cooper, 2002; Moreira e Siqueira, 2006).

A adição de urina no solo também pode aumentar as emissões de  $N_2O$ , devido à elevação dos níveis de N mineral, beneficiando os processos de nitrificação e desnitrificação, responsáveis por perdas gasosas e lixiviação de N (Lessa, 2011).

Estudo de Cardoso (2012) demonstrou que um animal de 450 kg de peso vivo, em ambientes de clima tropical, emite por ano 0,879 kg de  $N-N_2O$  ano<sup>-1</sup>. Já outro estudo de Cardoso et al. (2019) quantificaram as emissões provenientes de fezes e urina de bovinos criados em pastagem, e registraram que durante a estação seca os fatores de emissão das fezes e urina dos animais foram 0,32% e 0,47% respectivamente, já no período chuvoso os fatores de emissão foram 0,36% e 1,02% de fezes e urina, respectivamente, enquanto o fator de emissão do  $N_2O$  fixado pelo IPCC (2019) é de 0,4%.

Aumentar a produção sustentável do sistema é preciso, logo, a nutrição animal possui posição de destaque na redução dos impactos causados pela produção animal, elevando a produtividade do sistema através da manipulação da dieta ofertada aos ruminantes. Como ferramenta na redução da excreção urinária de N e conseqüentemente na redução de  $N_2O$ , é preciso aperfeiçoar o uso da dieta para melhorar a eficiência do uso de N dos animais (Montes et al., 2013).

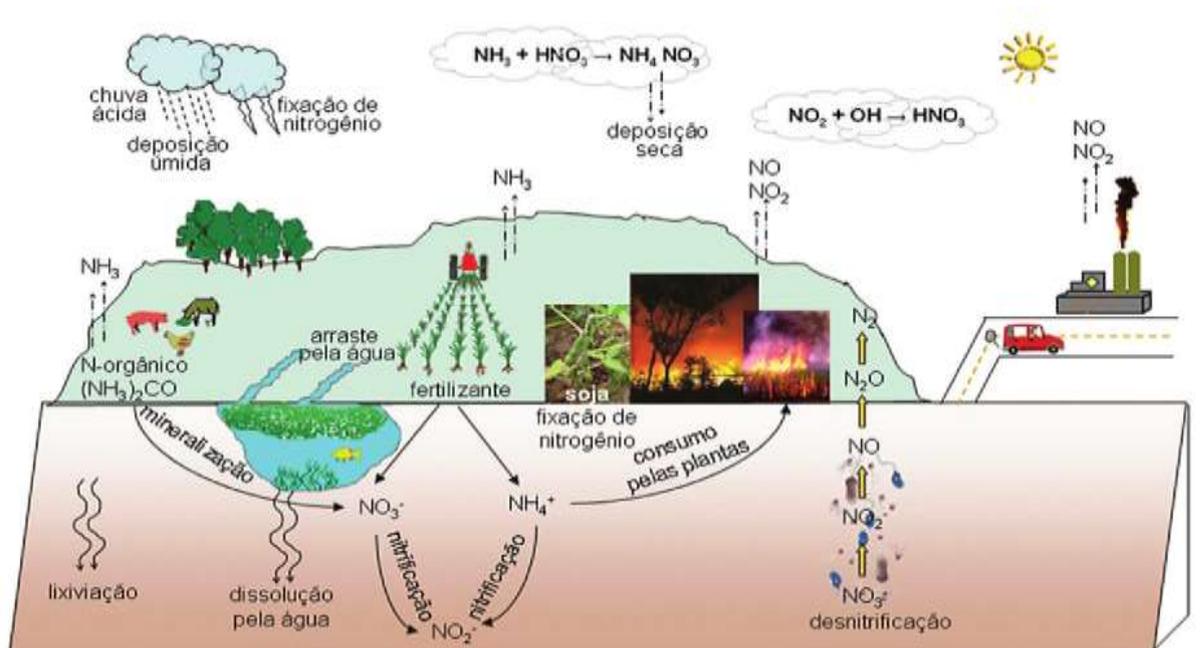
Logo, aumentar a quantidade PM que chega ao intestino delgado, através da inclusão de fontes de PNDR pode ajudar a melhorar o aproveitamento da proteína do

alimento, reduzir as excreções de N urinário e alterar a via de excreção do N da urina para fezes, minimizando os impactos causados pela atividade pecuária ao meio ambiente (Koenig et al., 2018; Koenig e Beauchemin, 2018).

### AMÔNIA (NH<sub>3</sub>)

A volatilização da amônia (NH<sub>3</sub>) é a perda de N na forma de NH<sub>3</sub>, pode ser proveniente tanto do fertilizante aplicado quanto da mineralização da matéria orgânica (Figura 1). Embora a NH<sub>3</sub> não seja, diretamente, um gás de efeito estufa, suas transformações na biosfera podem contribuir, potencialmente, para o aquecimento global. A NH<sub>3</sub> atua como fonte secundária de N<sub>2</sub>O, quando retorna na superfície do solo (Hristov et al., 2011).

Na pecuária, o NH<sub>3</sub> origina-se, principalmente, de áreas de confinamento e de pastagem com pastejo intenso de bovinos. O armazenamento e a utilização de esterco provenientes destes animais são também considerados fontes em potencial de NH<sub>3</sub> através da decomposição do N orgânico das fezes e urina (Vieira, 2017).



**Figura 1** – Ciclo do nitrogênio.  
Fonte: Oliveira (2020).

As maiores volatilizações de  $\text{NH}_3$  de excretas ocorrem através da urina (Lee et al., 2011; Lessa, 2014, Cardoso et al., 2019), essas perdas ocorrem em função da hidrólise da ureia elevar temporariamente o pH do solo, o que favorece as perdas por volatilização, chegando a 90% do  $\text{NH}_3$  emitido (Lee et al., 2011).

O aumento transitório do pH altera o equilíbrio entre o amônio e a amônia no solo. Quanto maior o pH na zona de aplicação, maior o potencial de volatilização da amônia (Vieira, 2017).

Segundo Saggart et al. (2004) as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  podem ser afetadas por fatores do solo como: pH, textura, temperatura, mineralogia da fração argila, umidade, a capacidade de troca catiônica e a teor de MO.

Em estudos realizados por Lessa (2014) e Costa (2015), as perdas de  $\text{NH}_3$  foram sempre maiores pela urina do que através das fezes, principalmente nos primeiros dias após a aplicação no solo, enquanto as perdas através das fezes são mais tardias. As maiores emissões encontradas pelos autores foram observadas na época seca do ano na região do cerrado, devido a altas temperaturas e menor umidade relativa do ar, que favorecem a difusão desse gás para a atmosfera.

O manejo nutricional dos animais é uma forma de diminuir as emissões de  $\text{NH}_3$  (Vieira, 2017). Koenig et al., 2018 utilizaram extrato de tanino condensado na dieta de bovinos suplementados com grãos secos de destilaria com solúveis (DDGs) e observaram que os animais suplementados que receberam o extrato tiveram uma redução nas emissões de  $\text{NH}_3$ , isso decorre da mudança na via de excreção do N desses animais que receberam dieta contendo o extrato, pois segundo os pesquisadores o extrato de tanino se complexa com a proteína tornando-a menos disponível para degradação ruminal, sendo metabolizada no intestino delgado.

Com a utilização da proteína de menor degradação ruminal, busca-se aumentar o aporte de PNDR que chega ao intestino dos animais. Quando a fonte de PNDR possui uma boa digestibilidade intestinal e perfil de AA adequado, a utilização da PM é otimizada (Cabral et al., 2001; Alves, 2004). Portanto, a manipulação da dieta dos animais representa uma oportunidade para reduzir as perdas de N nas excretas, tendo em vista reduzir os danos ambientais causados pelas emissões de  $\text{NH}_3$  e conseqüentemente, a de  $\text{N}_2\text{O}$  da produção de ruminantes.

Desse modo, a hipótese desse estudo é que a suplementação com PNDR mitigará as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  das excretas de bovinos de corte na fase de recria em pastagem

de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e o efeito da suplementação é dependente do tipo de excreta.

## **2 OBJETIVO**

O estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso da suplementação com proteína não degradável no rúmen (PNDR) nas emissões de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e NH<sub>3</sub> das fezes e urina de bovinos de corte na fase de recria em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALVES, D. Nutrição aminoacídica de bovinos. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 3, 2004.
- ATKINSON, R. L., TOONE, C. D., ROBINSON, T. J., HARMON, D. L. LUDDEN, P. A. Effects of supplemental ruminally degradable protein versus increasing amounts of supplemental ruminally undegradable protein on site and extent of digestion and ruminal characteristics in lambs fed low-quality forage. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 12, p. 3322-3330, 2007.
- BASTOS, D. F. **Emissão de óxido nitroso da urina e fezes de bovinos e ovinos em sistemas pecuários extensivos**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- BERNDT, A. Mitigação da produção de metano em ruminantes por meio da alimentação. In: **Embrapa Pecuária Sudeste - (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, **Anais...** Cuiabá: ABZ, 2012.
- BRASIL, M. C. T. I. Terceira comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. **Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. MCT, Brasília, DF, Brasil**, p. 79, 2016.
- BRODERICK, G. A.; WALLACE, R. J.; ØRSKOV, E. R. Control of rate and extent of protein degradation. In: **Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants**. Academic Press, p. 541-592, 1991.
- CABRAL, L. S., TOLEDO, C. L. B., RODRIGUES, D. N., LIMA, L. R., CABRAL, W. B., SILVA NETO, I. M., GALATI, R. L., ANDRADE, K. M., CENI, I., CARVALHO, L. B., ALVES, A. O. "Oportunidades e entraves para a pecuária de corte brasileira." In: SIMPÓSIO DE BOVINOS, 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, v.1. 2011.
- CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; MALAFAIA, P.A.M. LANA, R. P.; SILVA, J. F C.; VIEIRA, R. A M.; PEREIRA, E. S. Estimativa da digestibilidade intestinal da proteína de alimentos por intermédio da técnica de três estágios. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 30, n. 2, p. 546-552, 2001.
- CABRAL, L. D. S., ZERVOUDAKIS, J. T., COPPEDÊ, C. M., SOUZA, A. L., CARAMORI JÚNIOR, J. G., NETO, A. P., OLIVEIRA, I. S. Suplementação de bovinos de corte mantidos em pastagem de "Panicum maximum" cv. Tanzânia-1 no período das águas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 2, 2008.
- CALSAMIGLIA, S., FERRET, A., REYNOLDS, C. K., REYNOLDS, C. K., KRISTENSEN, N. B., VAN VUUREN, A. M. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. **Animal: An International Journal of Animal Bioscience**, v.4, p.1184-1196, 2010.

CAMARGO, K. D. V. **Influência da suplementação com proteína não-degradável no rúmen sobre o consumo, metabolismo e desempenho na recria de bovinos Nelore em pasto.** Dissertação. Universidade Estadual Paulista, 2020.

CARDOSO, A. S., OLIVEIRA, S. C., JANUSCKIEWICZ, E. R., BRITO, L. F., SILVA MORGADO, E., 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, p. 104341, 2019.

CARDOSO, A. S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. 2012.

CARDOSO, A. S., DE FIGUEIREDO BRITO, L., JANUSCKIEWICZ, E. R., DA SILVA MORGADO, E., BARBERO, R. P., KOSCHECK, J. F. W., REIS, R. A., RUGGIERI, A. C. Impact of grazing intensity and seasons on greenhouse gas emissions in tropical grassland. **Ecosystems**, v. 20, n. 4, p. 845-859, 2017.

CERRI, C. C., SILVA MOREIRA, C., ALVES, P. A., RAUCCI, G. S., CASTIGIONI, B. A., MELLO, F. F. C., CERRI, D. G. P., CERRI, C. E. P. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. **Journal of Cleaner Production**. v. 112, p. 2593-2600, 2016.

Davies, D.R.; Theodorou, K.M.; Kingston-Smith, A.H. et al. Advances in silage quality in 21<sup>st</sup> century. ed. Park, R.S.; Strong, M.D. Silage production and utilization Proceeding of XIV International Silage Conference, a satellite workshop. In: International Grassland Congress, 20, Dublin, 2005. Proceedings... Dublin, 2005

DIJKSTRA, J.; OENEMA, O.; BANNINK, A. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 414-422, 2011.

COSTA, A. R. **Perdas gasosas de nitrogênio e atributos microbiológicos do solo em pastagens após aplicação de urina e fezes de bovinos.** Tese de doutorado - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 92 p, 2015.

GONZALEZ-AVALOS, E.; RUIZ-SUAREZ, L. G. Methane emission factors from cattle manure in México. **Bioresource Technology**, v. 80, n. 1, p. 63-71, 2001.

GROSSI, G., GOGLIO, P., VITALI, A., WILLIAMS, A. G. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 69-76, 2019.

HOFFMANN, A. **Eficiência da substituição do farelo de algodão por DDGs na produção de bovinos de corte.** Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), 2019.

HOLTER, P. Methane emissions from Danish cattle dung pats in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 1, p. 31-37, 1997.

HRISTOV, A. N., FIRKINS, J. OH, J. L., DIJKSTRA, J., KEBREAB, E., WAGHORN, G., MAKKAR, H. P. S., ADESOGAN, A. T., YANG, W., LEE, C., GERBER, P. J., HENDERSON, B., TRICARICO, J. M.. SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options, **Journal of Animal Science**, Volume 91, p 5045–5069, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2019) Guidelines for national greenhouse gas inventories. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>>. Acesso em 03.Fev.2020

KEBREAB, E., FRANCE, J., MILLS, J. A. N., ALLISON, R., DIJKSTRA, J. A. dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 1, p. 248-259, 2002.

KOENIG, K. M., BEAUCHEMIN, K. A., MCGINN, S. M. Feeding condensed tannins to mitigate ammonia emissions from beef feedlot cattle fed high-protein finishing diets containing distillers grains. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 10, p. 4414-4430, 2018.

KOENIG, K. M.; BEAUCHEMIN, K. A. Effect of feeding condensed tannins in high protein finishing diets containing corn distillers grains on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and route of nitrogen excretion in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 10, p. 4398-4413, 2018.

KREUZER, MI; HINDRICHSEN, I. K. Methane mitigation in ruminants by dietary means: the role of their methane emission from manure. In: **International Congress Series**. Elsevier p. 199-208, 2006.

LAPIERRE, H., PACHECO, D., BERTHIAUME, R., OUELLET, D. R., SCHWAB, C. G., DUBREUIL, P., HOLTROP, G., LOBLEY, G. E. What is the true supply of amino acids for a dairy cow?. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p. E1-E14, 2006.

LEE, C., HRISTOV, A. N., HEYLER, K. S., CASSIDY, T. W., LAPIERRE, H., VARGA, G. A., PARYS, C. Effects of metabolizable protein supply and amino acid supplementation on nitrogen utilization, milk production, and ammonia emissions from manure in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 9, p. 5253-5268, 2012

LESSA, A. C. R. **Emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia de urina e fezes bovina em pastagens**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2011.

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

MACHADO, F. S., PEREIRA, L. G. R., GUIMARÃES JÚNIOR, R., LOPES, F. C. F., CHAVES, A. V., CAMPOS, M. M., MORENZ, M. J. F. Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. **Embrapa Gado de Leite-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

MALACCO V. M. R. **Substituição parcial do farelo de soja por farelo de soja tratado com amino resina na dieta de vacas F1 Holandês x Gir manejadas em pastejo rotacionado**. Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas, 2016.

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, 2014.

MONTES, F., MEINEN, R., DELL, C., ROTZ, A., HRISTOV, A. N., WAGHORN, J. OH. G, GERBER, P. J. HENDERSON, B. MAKKAR, H. P. S. Special topics Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 11, p. 5070-5094, 2013.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 729p, 2006.

OLIVEIRA, L. E. M. **O ciclo do nitrogênio**. 2020. Disponível em: <<http://www.ledson.ufla.br/assimilacao-e-transporte-de-nitrogenio-2/assimilacao-e-transporte-de-nitrogenio-em-plantas/>>. Acesso em 10.Abril.2021.

ORRICO JUNIOR, M. A. P., ORRICO, A. C. A., LUCAS JUNIOR, J. D., SAMPAIO, A. A. M., FERNANDES, A. R. M., OLIVEIRA, E. A. D. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 1301-1307, 2012.

PEDREIRA, M. S.; PRIMAVESI, O. Impacto da produção animal sobre o ambiente. **Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2006.

PIOVESAN, R. P., FAVARETTO, N., PAULETTI, V., MOTTA, A. C. V., REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 757-766, 2009.

REIS, R. A., OLIVEIRA, A. D., SIQUEIRA, G. R., GATTO, E. Semi confinamento para produção intensiva de bovinos de corte. SIMPÓSIO MATOGROSSENSE DE BOVINOCULTURA DE CORTE, **Anais...** Cuiabá, p. 195-224, 2011.

ROHSTOFFE, F. N. Guia prático do biogás: geração e utilização. **Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha**, 2010.

RUGGIERI, A. N., CARDOSO, A. S., RAPOSO, E., JANUSCKIEWCZ, E. R., BRITO, L. F., MELO, L. F. O., AZENHA, M. V., REIS, R. A. Mitigação de gases de efeito estufa e impacto na pecuária. In: **III Simpósio de Produção Animal a Pasto**, 1ed. Maringá: Nova Sthampa, p. 217-252, 2015.

SAGGAR, S., BOLAN, N. S., BHANDRAL, R., HEDLEY, C. B., LUO, J..A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 4, p. 513-544, 2004.

SAGGAR, S. Estimation of nitrous oxide emission from ecosystems and its mitigation technologies. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 136, n. 3/4, p. 189-365, 2010.

SANTOS, F. A. Glúten de milho na alimentação de aves e suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 1, n. 3, p. 79-100, 2004.

ŠIMEK, M.; COOPER, J. E. The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. **European Journal of Soil Science**, v. 53, n. 3, p. 345-354, 2002.

SINISCALCHI, D. **Efeito da suplementação com aditivo fitogênico sobre a emissão de gases de efeito estufa de excretas de animais em pastos de capim tropical**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Unesp, Jaboticabal.

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

SOUZA, V. C., MESSANA, J. D., BATISTA, E. D., ALVES, K. L. G. C., DIAS, A. V. L., CAMPOS, L. M., LIMA, L. O., GRANJA-SALCEDO, Y. T., FARIA, L. R., CARVALHO, G. M., PIRES, A. V., BERCHIELLI, T. T. Assessing amino acid utilization in young Nellore steers fed high-concentrate diets with different sources and levels of nitrogen. **Animal Feed Science and Technology**, v. 269, p. 114642, 2020.

VALADARES FILHO, S. C.; COSTA E SILVA, L. F.; LOPES, S. A. GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L.; PRADOS, L. F. **BR-CORTE 3.0**. Cálculo de exigências nutricionais, formulação de dietas e predição de desempenho de zebuínos puros e cruzados. Viçosa, MG: UFV, 2016. 327 p. Disponível em: <<http://www.brcorte.com.br>>. Acesso em: 17.Mai.2020.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University, 476p. 1994.

VIEIRA, R. F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. **Embrapa Meio Ambiente-Livro científico (ALICE)**, 2017.

WICKERSHAM, T. A., TITGEMEYER, E. C., COCHRAN, R. C., WICKERSHAM, E. E. Effect of undegradable intake protein supplementation on urea kinetics and microbial

use of recycled urea in steers consuming low-quality forage. **British Journal of Nutrition**, v. 101, n. 2, p. 225-232, 2008.

ZERVOUDAKIS, J.T.; PAULINO, M.F.; DETMANN, E. et al. Desempenho de novilhas mestiças e parâmetros ruminais em novilhos, suplementados durante o período das águas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.1050-1058, 2002.

## CAPÍTULO 2 - EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> E NH<sub>3</sub> NAS EXCRETAS DE BOVINOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM PROTEÍNA NÃO-DEGRADÁVEL NO RÚMEN DURANTE A RECRIA

**Resumo** – A atividade pecuária no Brasil tem um importante papel em atender a demanda mundial por alimento, contudo, o setor é responsável por emitir uma quantidade considerável de gases de efeito estufa (GEE) e amônia. A excreção de N através das fezes e urina dos ruminantes são fontes principalmente de óxido nitroso e amônia, e a nutrição pode ser uma estratégia na redução da emissão destes gases. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso da suplementação com proteína não degradável no rúmen (PNDR) nas emissões de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e NH<sub>3</sub> das fezes e urina de bovinos de corte na fase de recria em *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. A área de avaliação da emissão de gases possuía 0,8 ha formados por pastagem de capim *Urochloa brizantha* cv. Xaraés, que foi excluída do acesso dos animais 6 meses antes da aplicação dos tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o DBC (delineamento em blocos casualizados), com 5 blocos (local de aplicação da excreta no solo), em esquema fatorial (2 x 2 x 2), com 2 tipos de suplementos na alimentação do animal (suplementação com sal mineral *ad libitum* ou com glúten de milho a 0,3% do peso vivo como fonte de PNDR + sal mineral *ad libitum*), 2 fontes de emissão de gases (urina e fezes) e 2 períodos de aplicação das excretas (meio e fim da recria). As fezes e urinas implantadas no solo foram coletadas de novilhos Nelore, mantidos em pastagem de capim *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e suplementados, conforme tratamentos descritos anteriormente, as 09h00m. As amostragens das excretas dos animais dos tratamentos ocorreram em dois períodos, meio (Janeiro) e fim (Março) da fase de recria dos animais e as aplicações ao solo em Fevereiro (Meio) e Abril (Fim). Foram incluídas 5 câmaras sem a aplicação de fezes ou urina para avaliar as emissões derivadas do sistema solo e liteira que foram deduzidas dos tratamentos (emissão basal do solo). Deste modo, a área experimental era constituída de 25 parcelas. Cada câmara de avaliação das emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> constitui uma parcela. Em outras duas áreas próximas às parcelas de avaliação de gases, com mais 25 parcelas cada, foram também implantados os mesmos tratamentos ao solo, nas mesmas datas para amostragem de solo e para avaliação de amônia volatilizada. Houve uma tendência a interação entre tipo de suplemento, período da recria e tipo de excreta sobre o fator de emissão de NH<sub>3</sub> (P = 0,0585). A urina dos animais que receberam ou não suplementação com PNDR apresentaram maiores perdas de N na forma de NH<sub>3</sub> no fim da recria em relação ao observado no meio do período de recria, sendo também superiores às perdas de N via fezes, as quais não apresentaram diferença entre os tipos de suplemento e períodos de avaliação. A emissão acumulada de CH<sub>4</sub> foi afetada pelo período (P = 0,0319), entretanto, não foi observado efeito dos tipos de excretas (P = 0,1607) e tipos de suplementos (P = 0,1143) e interações. No período do meio da recria foi observada maior emissão acumulada de CH<sub>4</sub>, quando comparada com a emissão acumulada de CH<sub>4</sub> no fim da recria. Os fatores de emissão das fezes não foram afetados pelo período (P = 0,1381), tipo de suplemento (P = 0,5262) e interação. A emissão de N<sub>2</sub>O não foi afetada pelos períodos (P = 0,4698), tipos de excretas (P = 0,8265), tipos de suplementos (P = 0,8707) e interações. Os fatores de emissão de N<sub>2</sub>O não foram afetados pelos períodos (P = 0,4492), tipos de excretas (P = 0,7575), tipos de suplementos (P = 0,7411) e interações. Conclui-se que efeito da suplementação de bovinos de corte na fase de recria com PNDR sobre as

emissões de  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  é dependente do período e tipo de excreta. Porém não foram observados efeitos sobre a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ . Os fatores de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  das excretas de bovinos de corte na fase de recria estão abaixo dos valores preconizados pelo IPCC, superestimando a quantidade emitida pela atividade em nossas condições de criação em clima tropical.

**PALAVRAS CHAVE:** Gases de efeito estufa, óxido nitroso, amônia, proteína metabolizável

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria pecuária tem enfrentado vários desafios em relação à sustentabilidade ambiental, uma vez que contribui de forma significativa na produção de GEE com aproximadamente 14,5% do total de gases produzidos em todo o mundo, principalmente o metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), afetando a qualidade do ar (FAO, 2016).

A produção do  $\text{N}_2\text{O}$  por ruminantes está ligada à baixa eficiência de utilização de N na dieta pelos bovinos (a razão entre N no produto e ingestão de N), que contribuem de forma significativa com o aumento da produção de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{NH}_3$  devido a excreção de N pelas excretas. A eficiência média geral da utilização de N é de aproximadamente 25% (Calsamiglia et al., 2010). A baixa eficiência em reter o N consumido gera perdas excessivas de N através das excretas, atuando como fontes de emissão  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{NH}_3$  (Dijkstra et al., 2013). A urina é principal via de perda de N na forma de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{NH}_3$  (Cardoso et al., 2019), portanto alternativas que visem reduzir esses efeitos danosos ao ambiente devem ser estudadas. Além desses gases, as excretas dos bovinos também contribuem com a emissão de  $\text{CH}_4$ , sendo a quantidade de  $\text{CH}_4$  produzida dependente do tipo e digestibilidade do alimento ingerido, que resultam em diferentes composições de excreção (C/N) (González-Avalos e Ruiz-Suárez, 2001).

O excesso de proteína degradável no rúmen PDR pode gerar uma grande quantidade de  $\text{NH}_3$  ruminal, sendo absorvido via parede ruminal e levada ao fígado onde é detoxificado a ureia, podendo retornar ao rúmen via saliva ou epitélio, o que não for utilizado é excretado via urina, contribuindo com o aumento dos GEE (Atkinson et al., 2007; Koenig e Beauchemin, 2018). Uma das estratégias para otimizar a eficiência de uso do N e reduzir as perdas desse composto nas excretas é alterar a via de excreção de N para as fezes (Koenig e Beauchemin, 2018). A proteína não degradável no rúmen (PNDR) é uma fonte de proteína metabolizável, ou seja, que é absorvida no intestino do ruminante, portanto, a suplementação com PNDR no período das águas pode ser eficaz em aumentar o fluxo de AA no intestino delgado (Leonardi et al. 2003), melhorar o sincronismo entre energia e proteína, assim como otimizar o uso do N pelos ruminantes, proporcionando melhor desempenho sem comprometer o consumo e a digestibilidade dos nutrientes dos animais em pastejo (Figueiredo et al., 2008; Hoffmann, 2019).

Com a suplementação com PNDR é possível aumentar a produtividade do sistema sem aumentar as concentrações de  $\text{NH}_3$  ruminal e prejudicar a produção de proteína microbiana, evitando possíveis perdas de N pela urina, e consequentemente aumentando a reciclagem de N pelo animal (Camargo, 2020).

Nesse contexto a suplementação com PNDR, pode melhorar a limitação do AA, aumentar o uso eficiente de nutrientes e diminuir a excreção de N no meio ambiente, com isso reduzir a poluição ambiental.

Portanto, hipotetizou-se que a suplementação com PNDR mitigará as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  e a suplementação com PNDR afeta a via de excreção de N. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito da suplementação com PNDR sobre a composição das excretas de bovinos de corte em fase de recria e nas quantificações das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{NH}_3$ .

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área pertencente ao Departamento de Zootecnia da FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal, entre os meses de Fevereiro de 2019 a Abril de 2020. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (Embrapa, 2013). As propriedades químicas e físicas do solo estão apresentadas na Tabela 1. A área de avaliação da emissão de gases possuía 0,8 ha formados por pastagem de capim *Urochloa brizantha* cv. Xaraés, que foi excluída do acesso dos animais seis meses antes da aplicação dos tratamentos. Antes do início da aplicação das excretas esta área foi roçada a 10 cm do solo.

O delineamento experimental utilizado foi o DBC (delineamento em blocos casualizados), com 5 blocos (local de aplicação da excreta no solo), em esquema fatorial ( $2 \times 2 \times 2$ ), com 2 tipos de suplementos na alimentação do animal (suplementação com sal mineral *ad libitum* – Sem PNDR; ou com glúten de milho a 0,3% do peso vivo como fonte de PNDR + sal mineral *ad libitum* – Com PNDR), 2 fontes de emissão de gases (urina e fezes) e 2 períodos experimentais (meio e fim da recria). Os tratamentos foram: 1) adição no solo de urina proveniente de animais suplementados Sem PNDR; 2) adição no solo de urina proveniente de animais suplementados Com PNDR; 3) adição no solo de fezes proveniente de animais suplementados Sem PNDR; 4) adição no solo de fezes proveniente de animais suplementados Com PNDR.

Tabela 1 - Propriedades químicas e físicas do solo da área experimental, na profundidade de 0 a 10cm.

Propriedades	Valor
<i>Químicas</i>	
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,8
Matéria orgânica do solo (MO, g dm <sup>-3</sup> )	20,0
P (mg dm <sup>-3</sup> )	6,0
S (mg dm <sup>-3</sup> )	4,0
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	15,0
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,0
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,1
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	22,0
Soma de bases (SB, mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	24,3
CTC total (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46,8
Saturação por bases V (%)	52,0
Saturação Al m (%)	1,0
<i>Físicas</i>	
Argila (%)	30,0
Silte (%)	2,0
Areia total (%)	68,0
Areia grossa (%)	28,0
Areia fina (%)	40,0

As amostragens das excretas dos animais dos tratamentos ocorreram em dois períodos, meio (Janeiro) e fim (Março) da fase de recria dos animais e as aplicações ao solo em 20/02/2019 e 19/04/2019, meio e fim da recria respectivamente. Foram incluídas 5 câmaras sem a aplicação de fezes ou urina para avaliar as emissões derivadas do sistema solo e liteira que foram deduzidas dos tratamentos (emissão basal do solo). Deste modo, a área experimental era constituída de 25 parcelas. Cada câmara de avaliação das emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> constitui uma parcela.

Em outras duas áreas próximas às parcelas de avaliação de gases, com mais 25 parcelas cada, foram também aplicados os mesmos tratamentos ao solo, nas mesmas datas para amostragem de solo e para avaliação de amônia volatilizada.

Quando o pasto atingia 20 cm de altura no interior da câmara foi realizado o corte em aproximadamente 10 cm de altura (Figura 2). As excretas foram aplicadas uma única vez no solo nos locais de coleta.



**Figura 2** – Corte do capim na área de amostragem.  
**Fonte:** Arquivo pessoal.

As fezes e urinas foram coletadas de 64 novilhos Nelore divididos em dois lotes de 32 animais com e sem suplementação com PNDR, mantidos em pastagem de capim *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e suplementados as 09h00m, conforme tratamentos descritos anteriormente. A composição química do suplemento e da forragem está descrita na Tabela 2.

As fezes foram coletadas imediatamente após a excreção e realizado uma amostra composta dos 32 animais e cada tratamento e em seguida armazenada em freezer para conservação até o momento da aplicação no solo. A coleta de urina foi realizada após estímulo para micção dos animais contidos no tronco. A urina coletada foi armazenada em galões separados por tratamento (Sal Mineral e PNDR) e alocada em freezer até o momento da aplicação.

Tabela 2. Composição química média dos suplementos e da forragem durante o período experimental.

Item <sup>1</sup> (g/kg MS)	Forragem				Suplemento Com PNDR <sup>2</sup>
	Meio da recria		Fim da recria		
	Sem PNDR	Com PNDR	Sem PNDR	Com PNDR	
Matéria seca	245	245	206	205	911
Matéria orgânica	916	919	917	911	977
Proteína bruta	122	135	128	135	685
Fração A, g/kg PB	152	93	107	90	-
Fração B <sub>1</sub> , g/kg PB	55	85	91	149	-
Fração B <sub>2</sub> , g/kg PB	441	408	511	468	-
Fração B <sub>3</sub> , g/kg PB	225	302	174	190	-
Fração C, g/kg PB	128	112	117	102	-
FDN	601	564	622	602	109
FDA	313	289	333	321	19,0
CNF <sup>5</sup>	170	197	147	150	239
MSpd	796	783	735	747	-

<sup>1</sup>Médias obtidas através da técnica de pastejo simulado em quatro períodos (CAMARGO, 2020).

<sup>1</sup>PB = Proteína Bruta; FDN= Fibra insolúvel em detergente neutro; FDA= Fibra em detergente ácido; CNF = Carboidratos não fibrosos; MSpd = Matéria seca potencialmente digestível.

<sup>2</sup>Suplemento com PNDR = suplementação proteica com glúten de milho 60 a 0,3%.

Todos os animais de todos os tratamentos receberam suplementação mineral: níveis de garantia: (Ca, 160g; P, 40g; Mg, 5g; S, 40g; Na, 160g; Cu, 945mg; Mn, 730mg; Zn, 3500mg; I, 70mg; Co, 56mg; Se, 18mg; F(máx) 400mg).

A quantidade de excreta aplicada por parcela foi de 1,5 kg no caso dos tratamentos com fezes e 1L nos tratamentos com urina. No dia da aplicação dos tratamentos no solo, amostras de fezes e urina foram separadas para análises de laboratório, sendo determinados o pH, carbono total (C), nitrogênio total (N) e a concentração de N mineral. Nas amostras de fezes também foram determinadas o teor de matéria seca (MS), teor de matéria orgânica (MO) e sólidos voláteis totais (SV) de acordo com AOAC (1990). O teor de N e C foi determinado por condutividade térmica (Método de Dumas) utilizando-se o equipamento Leco® (modelo LECO FP-528; LECO Corporation, St. Joseph, MI). O resultado das análises da composição

química das fezes e urina e a quantidade de N aplicada por câmara são apresentados a seguir (Tabela 3).

Tabela 3 – Quantidade de N aplicada via fezes e urina por câmara, e composição química das fezes e urinas, em função do tipo de suplementação, nos períodos experimentais de avaliação de amônia.

Tratamento	MS (g/kg MS)	N (g/kg MS)	C (g/kg MS)	C:N	pH	Ureia (g N-ureia/L)
Meio da recria (Fevereiro)						
Fezes Sem PNDR	134	19,4	413	21,3	-	-
Fezes Com PNDR	146	24,8	423	17,1	-	-
Urina Sem PNDR	-	1,90	3,00	1,60	9,20	0,63
Urina Com PNDR	-	2,10	2,00	0,93	9,30	0,58
Fim da recria (Abril)						
Fezes Sem PNDR	126	17,4	421	24,1	-	-
Fezes Com PNDR	148	22,3	426	19,1	-	-
Urina Sem PNDR	-	3,10	4,00	1,30	9,30	1,52
Urina Com PNDR	-	1,80	3,00	1,65	9,50	0,41

MS= Matéria Seca; N= Nitrogênio; C= Carbono; C:N= Relação C/N; S/= Sem; C/= Com.

\*Foram aplicados 1,5kg de fezes frescas e 1L de urina, por câmara.

#### AVALIAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O E CH<sub>4</sub> NAS EXCRETAS

As emissões diretas de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foram medidas seguindo as recomendações do manual para avaliação de GEE pelo método das câmaras estáticas (Klein e Harvey, 2015) utilizando câmaras estáticas padronizadas (Cardoso et al., 2019) constituída de uma base de metal medindo 0,6m x 0,4m x 0,15m que foi inserida a 7 cm de profundidade e a parte superior plástica com 9 cm de altura revestida por isolante térmico, que foi posicionada em cima da base somente no momento da coleta dos gases (Figura 3).

A coleta dos gases para amostragens referente a cada período experimental (meio e fim da recria) foi realizada durante 12 meses, seguindo a recomendação do guia do IPCC (2006) e de Nichols et al. (2016). As amostras foram retiradas diariamente na primeira semana, após a aplicação dos tratamentos no solo, a cada dois dias na segunda semana, duas vezes por semana até o final do primeiro mês,

semanalmente entre 30 e 60 dias após a aplicação dos tratamentos e depois a cada quinze dias até o sexto mês e a cada 15 dias até completar 12 meses de avaliações.



**Figura 3** – Área de amostragem.

**Fonte:** Arquivo pessoal.

As amostragens foram realizadas entre 9h00 e 10h00 como preconizado por Alves et al. (2012), pois este horário representa o fluxo médio diário do gás. As temperaturas do solo, e do ar no interior e fora da câmara foram medidas utilizando termômetros digitais (Termômetro digital MixTERM de máxima e mínima e termômetro digital Incoterm tipo espeto). As câmaras foram fechadas por um período de 30 min e amostras de ar foram coletadas nos tempos 0 e 30 min. As amostras foram coletadas com uma seringa estéril de polipropileno de 50 mL e as amostras de ar (30 ml) foram transferidas para frascos de cromatografia pré-evacuados (20 ml) (Figura 4) a -800 Pa, e em seguida a concentração do gás foram determinadas por cromatografia gasosa.



**Figura 4** – Amostragem de gases do efeito estufa.

**Fonte:** Arquivo pessoal.

As amostras foram analisadas em um cromatógrafo a gás (Shimadzu Greenhouse Gas Analyzer GC-2014; Kyoto, Japan), foi injetado 1,5ml da amostra sobre as seguintes condições, para mensurar  $\text{N}_2\text{O}$ : injetor a  $250^\circ\text{C}$ , coluna a  $80^\circ\text{C}$ , usando  $\text{N}_2$  como gás de arraste ( $30 \text{ ml min}^{-1}$ ), e o detector de captura elétrica a  $325^\circ\text{C}$ . Nas mensurações de  $\text{CH}_4$ : utilizou-se  $\text{H}_2$  como gás de arraste ( $30 \text{ ml min}^{-1}$ ), detector de ingestão de chama a  $280^\circ\text{C}$ .

Os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{N-N}_2\text{O}$  em  $\mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e  $\text{CH}_4$  ( $\text{C-CH}_4$  em  $\mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) foram corrigidos para as CNTPs (Condições Normais de Temperatura e Pressão) calculados em função das mudanças de concentração do gás no interior da câmara no período de incubação, de acordo com a seguinte equação: Fluxo do gás =  $\delta\text{gas}/\delta T \times M/V_m \times V/A$  onde,  $\delta\text{gas}$  é o aumento na concentração do gás no período de incubação ( $\mu\text{L L}^{-1}$ );  $\delta T$  é o período de incubação (h); M é a massa molar do gás em N ou C;  $V_m$  é o volume molecular corrigido pela temperatura e pressão no momento de amostragem ( $\text{L mol}^{-1}$ ); V é o volume da câmara ( $\text{m}^3$ ); e A é a área que a câmara cobre ( $\text{m}^2$ ).

Os fluxos horários foram multiplicados por 24 obtendo a emissão diária. As médias nos dias não avaliados foram obtidas por interpolação linear entre as médias dos dias avaliados, e a emissão cumulativa em um ano de avaliação constitui a soma das emissões diárias em todo o período. Os fluxos negativos foram incluídos nos cálculos para evitar enviesamento nos resultados (Van Der Weerden et al., 2016). O fator de emissão direto ( $\text{EF}_{3\text{PRP}}$ ,  $\text{N}_2\text{O-N}$  emitido em função % do N aplicado) foi calculado dividindo as emissões induzida pela aplicação dos tratamentos descontada a emissão do controle pela quantidade de N aplicada em cada tratamento. As

emissões acumuladas de  $\text{CH}_4$  ( $\text{g C-CH}_4 \text{ kg fezes seca}$ ) foram multiplicadas pela produção fecal anual por um animal adulto em vias a obter o fator de emissão de  $\text{CH}_4$  originários das fezes ( $\text{kg CH}_4 \text{ cabeça}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

#### AVALIAÇÃO DA VOLATILIZAÇÃO DE $\text{NH}_3$

A quantificação de  $\text{NH}_3$  volatilizada foi realizada de acordo a metodologia descrita por Araújo et al. (2009). Nesta técnica a  $\text{NH}_3$  volatilizada é capturada por uma câmara semi-aberta confeccionada com uso de garrafas plásticas PET 2L com diâmetro de 10 cm e área de  $0,0078 \text{ m}^2$ , equipadas com uma espuma embebida em solução ácida.



**Figura 5** – Amostragem de  $\text{NH}_3$  em câmara tipo semi-aberta.  
**Fonte:** Arquivo pessoal.

As câmaras foram colocadas sobre as excretas e as espumas foram trocadas nos dias 1, 3, 5, 9, 14 e 21 após a aplicação das excretas, totalizando 21 dias (Figura 5). No interior da garrafa PET, foi instalado um sistema absorvedor de amônia, constituído de uma lâmina de espuma de poliuretano ( $0,017 \text{ g cm}^{-3}$ ) com 0,3 cm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, embebida com solução ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), suspensa verticalmente com o auxílio de um fio rígido de 0,15 cm de diâmetro (Figura 4). Em um recipiente com capacidade para 80 mL, suspenso pela extremidade inferior do fio rígido, foram adicionados 10 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $1 \text{ mol dm}^{-3}$  e glicerina (2%v/v). Na instalação, a lâmina de espuma foi mantida com a extremidade inferior dentro do

recipiente de 80mL, evitando respingos da solução ácida no substrato. A outra extremidade da espuma permaneceu presa a parte superior do fio rígido, mantendo-a na posição vertical. A determinação do N-NH<sub>3</sub> retido na espuma foi realizada por destilação e titulação, segundo o método de Kjeldhal (LIMA et al., 2018).

#### COLETAS E ANÁLISES DO SOLO

No início do experimento foram coletadas amostras indeformadas (cilindro de 5 cm diâmetro x 4 cm altura), as quais foram secas a 105°C em estufa com ventilação forçada de ar por 48 horas e então calculada a densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>). Posteriormente a porosidade do solo foi calculada dividindo a densidade do solo pela densidade de partículas estimada em 2,65 Mg m<sup>-3</sup>.

Ao longo do período experimental foram coletadas amostras de solos na profundidade de 0-10 cm para determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico e concentração de amônio e nitrato. No laboratório, aproximadamente 5 g de solo foram misturas em 25 mL 2M KCl e agitadas por 30min a 240 RPM (rotações por minuto) e filtradas. A reação de Berthelot (Forster, 1995) e redução pelo cloreto de vanádio-III (DOANE e HORWATH, 2003) foram utilizadas para determinação de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), respectivamente. O restante do solo foi seco a 105°C por 24h, para determinar a umidade gravimétrica. A umidade volumétrica e o espaço poroso saturado com água (EPSA) foram calculados usando a densidade do solo e a densidade das partículas (2,65 g cm<sup>-3</sup>). Dados de precipitação e temperatura do ar foram obtidos da Estação Agrometeorológica, Departamento de Ciências Exatas, FCAV/UNESP, latitude 21°14'05" S, longitude 48°17' 09" W, altitude 615,01 m, localizada próximo à área experimental.

#### ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS GASES DE EFEITO ESTUFA

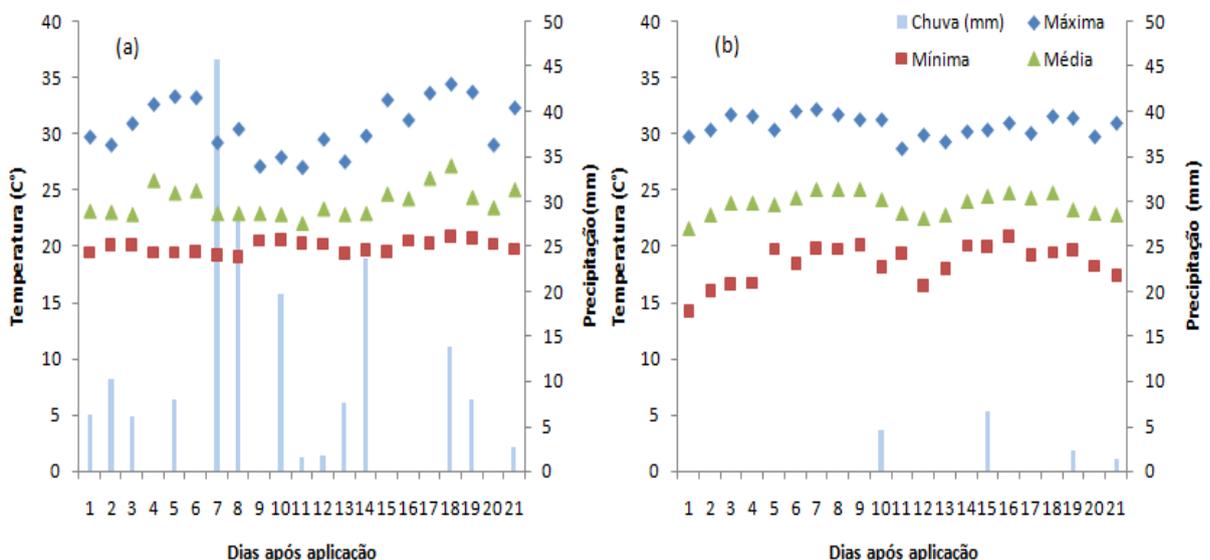
Os dados diários dos gases foram integrados e testados quanto à homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos, e submetidos à ANOVA. Os dados de volatilização de N foram transformados utilizando a raiz quadrada de (n). As características emissão acumulada de N<sub>2</sub>O das excretas e de CH<sub>4</sub> das fezes, fator de emissão de N<sub>2</sub>O e de NH<sub>3</sub>, conteúdo de amônio e nitrato, EPSA e temperatura do solo foram analisados considerando um delineamento em blocos ao acaso. O modelo

estatístico inclui o tipo de suplemento (S), o tipo de excreta (E), o período da recria (P) e as interações (S x E, S x P, E x P, S x E x P) como efeitos fixos. Para o fator de emissão de CH<sub>4</sub> das fezes, o modelo estatístico inclui o tipo de suplemento (S), o período da recria (P) e a interação entre tipo de suplemento e período (S x P) como efeitos fixos. A unidade experimental foi considerada cada parcela de amostragem (câmaras estáticas, câmara semi-aberta ou parcela de amostragem de solo). Os dados foram analisados utilizando o procedimento PROC GLM do SAS e as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey. As diferenças foram consideradas significativas quando  $P \leq 0,05$  e tendências foram discutidas quando  $0,05 < P \leq 0,10$ .

### 3 RESULTADOS

#### 3.1. VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

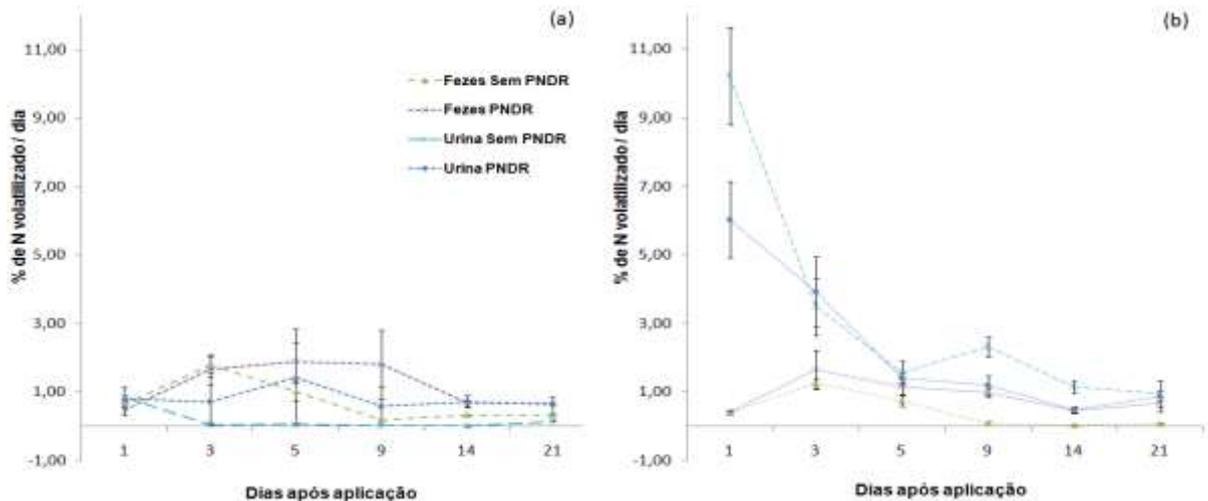
Durante o período de avaliação da volatilização de NH<sub>3</sub> as maiores precipitações ocorreram no meio da fase de recria com volume de chuva acumulado de 182 mm, contra 15 mm no fim da recria. A temperatura média do ar durante os períodos de meio e fim da recria foram 23,8°C e 23,9°C, respectivamente. As temperaturas máxima e mínima registradas durante os períodos foram de 34,4°C e 19,2°C, respectivamente durante o meio da recria, e 32,2°C e 16°C, respectivamente, no fim da recria (Figura 5).



**Figura 6** - Temperatura do ar (mínima, média e máxima; °C) e precipitação (mm) diária nos períodos meio (a) e fim (b) da recria.

No meio da recria a volatilização de  $\text{NH}_3$  proveniente da urina do tratamento sem PNDR reduziu a nível basal no terceiro dia, enquanto a urina do tratamento com PNDR apresentou emissão até o quinto dia, com redução até o nível basal após esse período (Figura 6 a e b). Ainda no meio da recria, o pico de volatilização de  $\text{NH}_3$  das fezes do tratamento sem PNDR ocorreu ao terceiro dia, reduzindo ao nível basal no nono dia, em contrapartida, as fezes com PNDR mantiveram volatilização constante até o nono dia, com redução somente no décimo quarto dia após implantação.

No fim da recria a volatilização de  $\text{NH}_3$  da urina em ambos os tratamentos tiveram o pico de emissão no primeiro dia após a implantação no solo, com redução significativa até o quinto dia. As perdas no tratamento de fezes no período do fim da recria tiveram o pico no terceiro dia, contudo as fezes do tratamento sem PNDR cessaram as emissões no nono dia, ao passo que as fezes do tratamento com PNDR reduziram as perdas no 14º dia (Figura 7 a e b).



**Figura 7** – Volatilização de  $\text{NH}_3$  das fezes e urina nos períodos meio (a) e fim (b) da recria.

Houve uma tendência a interação entre tipo de suplemento (S), período da recria (P) e tipo de excreta (E) sobre o fator de emissão de  $\text{NH}_3$  ( $P=0,0585$ ) (Tabela 4). Isto é, o efeito da suplementação sobre as perdas de N na forma de  $\text{NH}_3$  depende do período de recria e tipo de excreta. A urina de animais suplementados ou não com PNDR apresentaram maior perdas de N na forma de  $\text{NH}_3$  no período do fim da recria

em relação ao observado no meio da recria e sendo também superiores às perdas via fezes, as quais se mantiveram constantes nos dois períodos avaliados.

Tabela 4. Fator de emissão de amônia de excretas de animais suplementados ou não com PNDR, em diferentes períodos da recria.

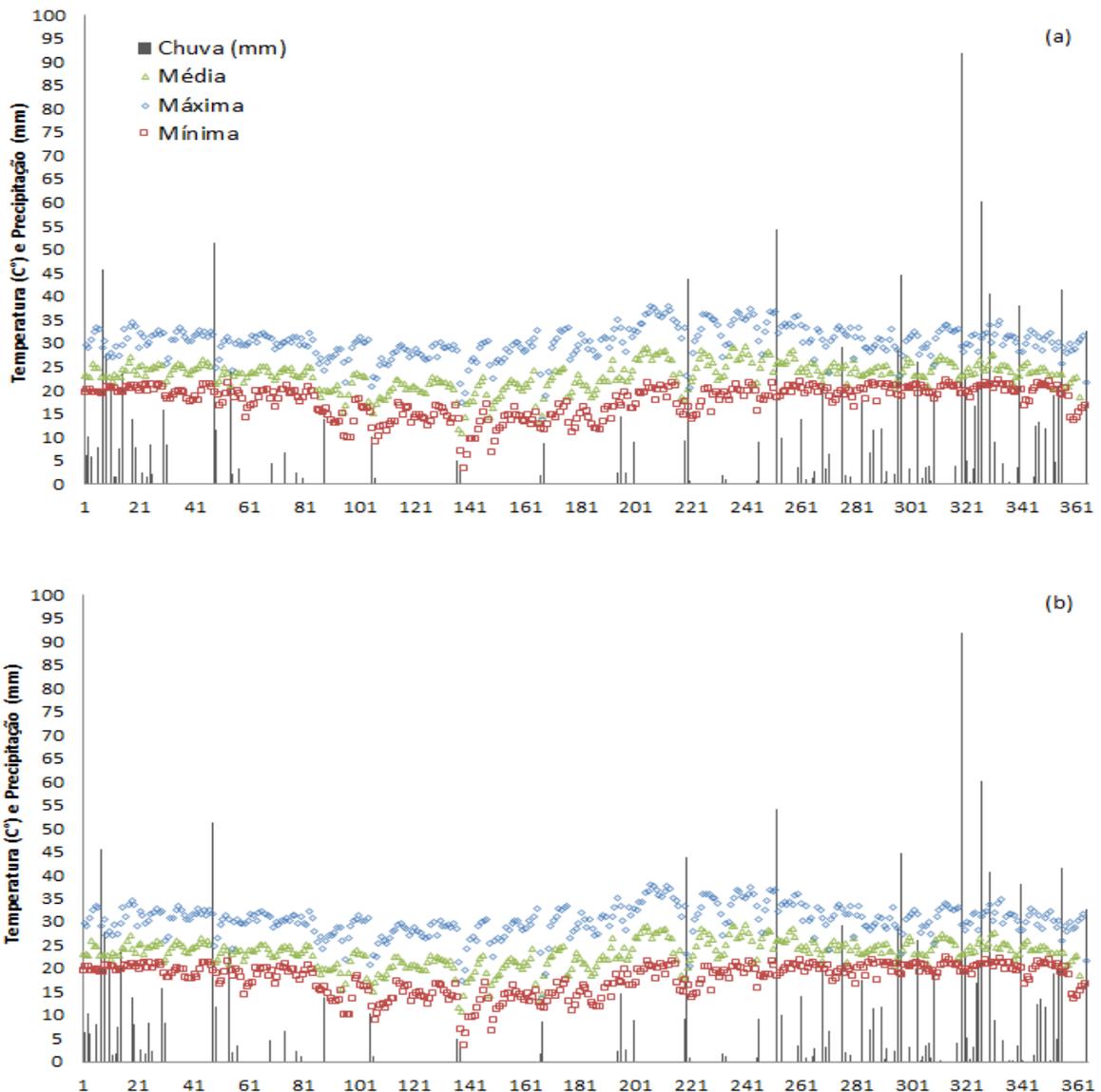
Período da recria (P)	Suplemento (S)*	Excreta (E)		Média	P-valor	
		Fezes	Urina			
Meio da recria <sup>1</sup>	Sem PNDR	2,83(0,41)b	1,09(0,28)b	1,96	P	<0,0001
	Com PNDR	5,93(1,13)b	4,82(3,24)b	5,31	E	<0,0001
	Média	4,21	2,95		S	0,3263
					ExS	0,0566
Fim da recria <sup>2</sup>	Sem PNDR	2,22 (0,13)b	19,67(2,12)a	10,94	PxE	<0,0001
	Com PNDR	4,56 (0,60)b	13,91(0,87)a	9,23	PxS	0,0125
	Média	3,39	16,79		PxExS	0,0585

\*Tipos de suplementos: Sem PNDR (sal mineral) ou Com PNDR (Sal mineral mais glúten de milho a 0,3% de PC). <sup>1</sup>Meio da recria, implantação de excretas na área experimental em 19/02/2019; <sup>2</sup>Fim da recria, implantação de excretas na área experimental em 19/04/2019. Erro padrão da média entre parêntesis. Média seguidas de diferentes letras diferem entre si.

### 3.2. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

#### 3.2.1. Variáveis climáticas

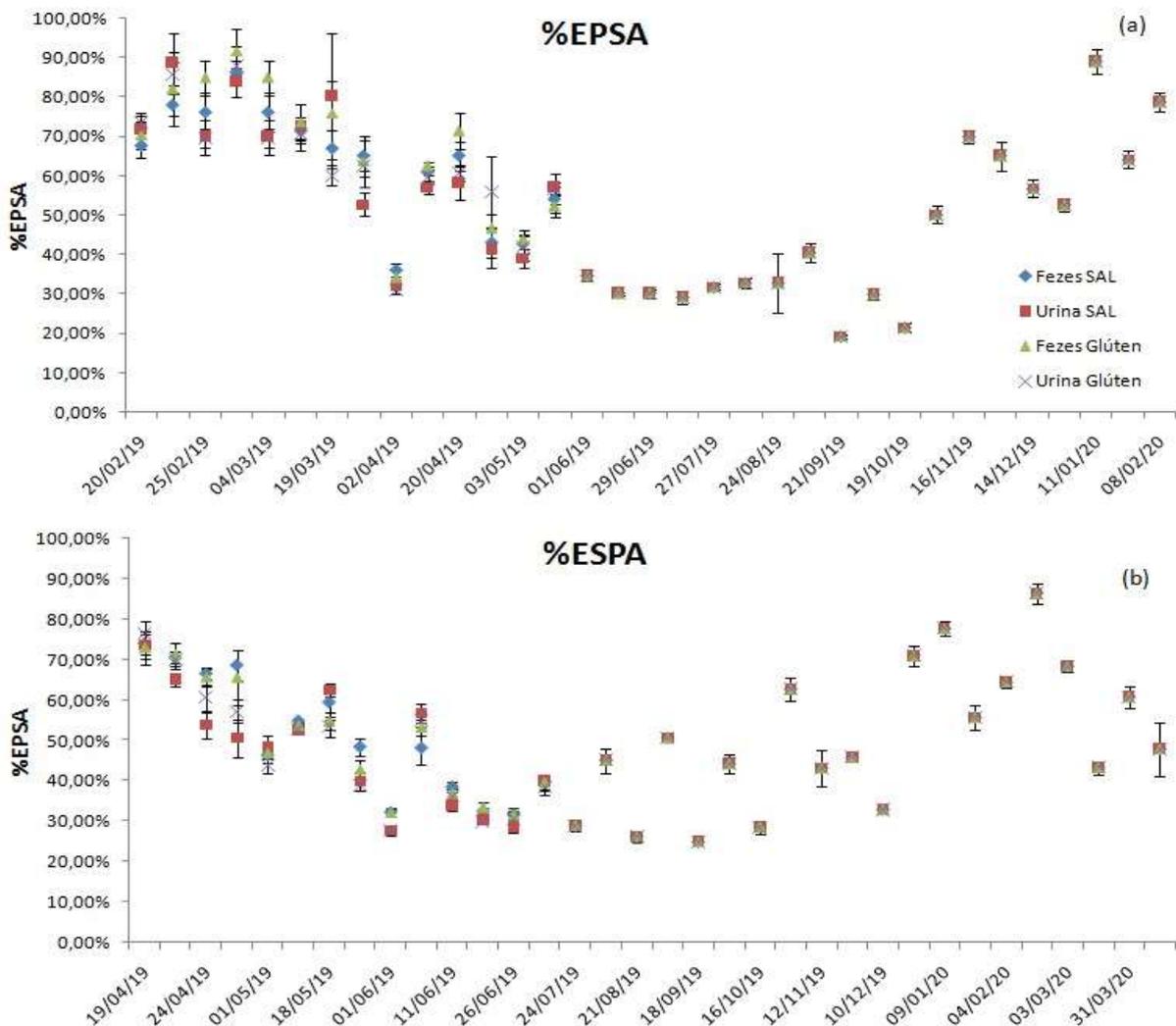
A temperatura mínima, média e máxima do ar durante um ano de avaliação foi de 19,9, 27,1 e 35°C, respectivamente, para o período do meio recria, e de 17,5, 26,6 e 34,9°C, no fim da recria (Figuras 8 a e b). A precipitação foi maior durante o meio da recria em comparação com o fim da recria, com volume total acumulado de 1250 mm e 1154 mm, respectivamente, ao longo do período de coletas (Figuras 8 a e b).



**Figura 8.** Precipitação e temperatura do ar nos períodos meio (a) e fim (b) da recria.

### 3.2.2. Umidade do solo e N mineral

O EPSA (0-10 cm) teve uma grande variação durante os períodos avaliados em resposta à precipitação durante os mesmos (Figura 9). No período do meio da recria, nos primeiros 30 dias após a implantação das excretas no solo, choveu 195mm e o EPSA médio foi de 73%, já no fim da recria o índice de chuva nos primeiros 30 dias foi 29mm, o EPSA médio foi de 61%. O EPSA foi maior no período do verão (Dezembro a Março), quando é registrado maior volume de chuvas na região, porém algumas chuvas isoladas entre os meses de Agosto e Setembro também aumentaram o EPSA.



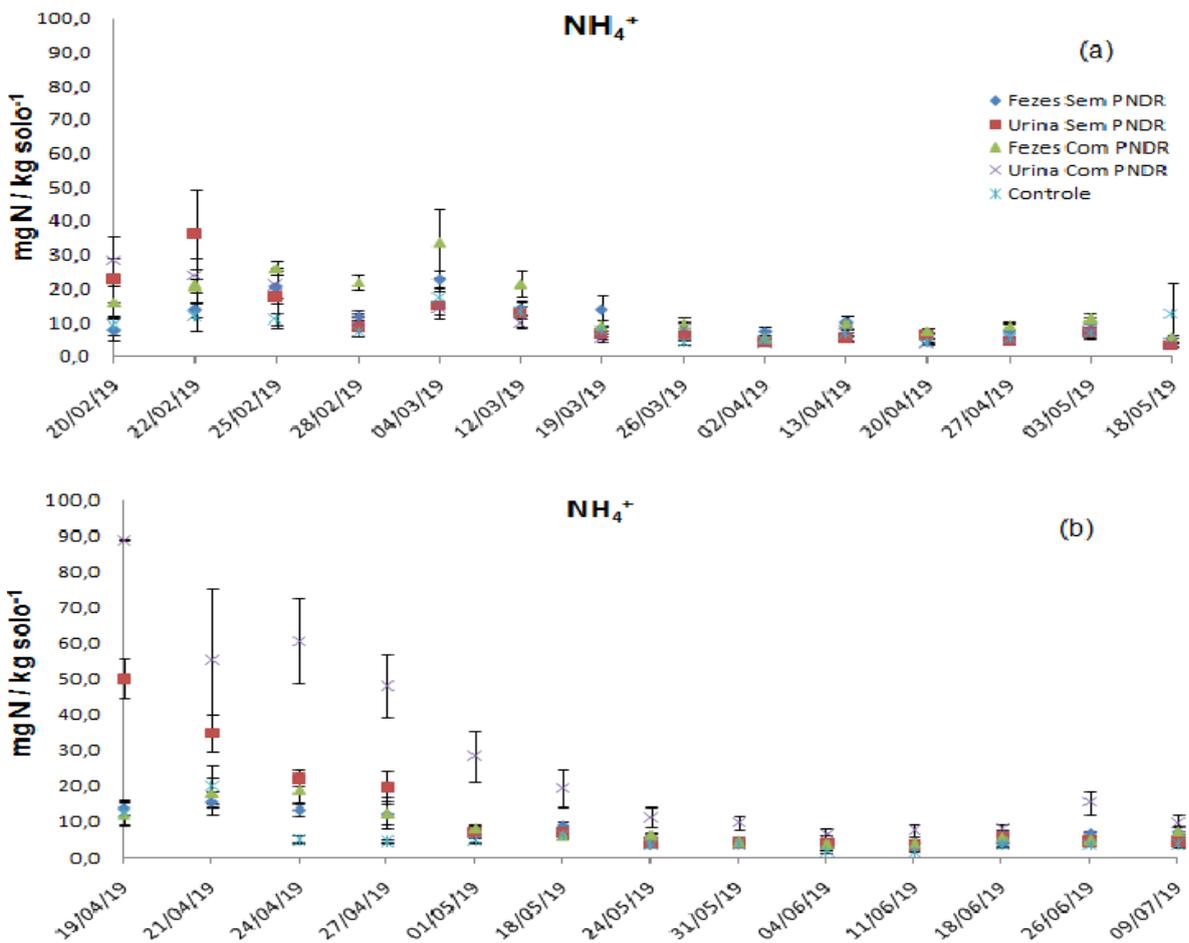
**Figura 9.** Espaço poroso saturado por água (EPSA, %) nos períodos meio (a) e fim (b) da recria.

Nos dois períodos experimentais (meio e fim da recria) as aplicações das excretas elevaram os níveis de N mineral do solo, principalmente as aplicações de urina (Figuras 10 e 11). No período do meio da recria, foi observado um menor teor de N mineral. No fim da recria, foram registrados os valores mais expressivos de N mineral.

No meio do período de recria o  $\text{NH}_4^+$  do tratamento urina sem PNDR atingiu máximo de  $36 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e a urina com PNDR  $29 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ , o tratamento fezes sem PNDR atingiu máximo de  $22 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e a fezes com PNDR  $33 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e o nível basal do solo atingiu um máximo de  $18 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ . No período fim da recria o nível basal do  $\text{NH}_4^+$  do solo atingiu um máximo de  $20 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ , o  $\text{NH}_4^+$  do tratamento urina sem PNDR atingiu máximo de  $50 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e a urina

com PNDR 88 mg N/kg solo<sup>-1</sup>, o tratamento fezes sem PNDR atingiu máximo de 15 mg N/kg solo<sup>-1</sup> e a fezes com PNDR 19 mg N/kg solo<sup>-1</sup>.

Os picos de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram maiores para urina em ambos os períodos logo após a implantação, na sequência o teor foi reduzido até próximo ao valor basal. No meio da recia o teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nos tratamentos com urina retornaram aos níveis próximos ao basal após 8 dias da aplicação dos tratamentos. Porém, no fim da recia o teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo oriundo do tratamento urina sem PNDR foi reduzido a próximo do controle somente 34 dias após a implantação e o tratamento urina com PNDR os valores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> chegaram níveis próximos ao basal após 49 dias. As fezes elevaram os teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> após aplicação no meio da recia, contudo não foi observado este aumento nos teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo no fim da recia.

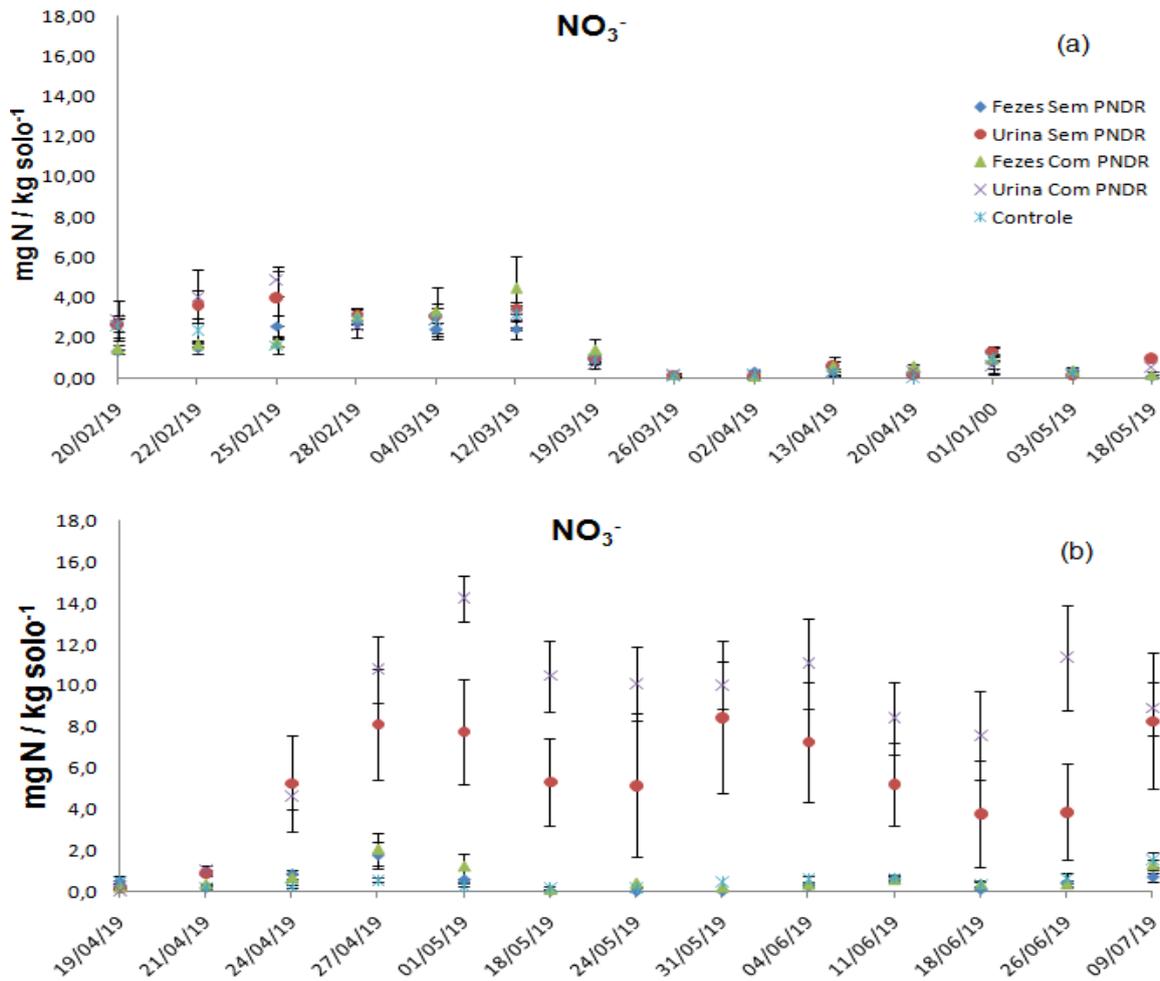


**Figura 10.** Concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na camada de 0-10 cm do solo, nos períodos meio (a) e fim (b) da recia.

Após a aplicação das excretas no solo também aumentou o teor de  $\text{NO}_3^-$ , porém este efeito não foi observado nas parcelas que receberam as fezes, sendo observados valores semelhantes ao basal nos dois períodos experimentais.

No meio do período de recria o  $\text{NO}_3^-$  do tratamento urina sem PNDR atingiu máximo de  $4 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e a urina com PNDR  $5 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ , o tratamento fezes sem PNDR atingiu máximo de  $3 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e a fezes com PNDR  $4 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e o nível basal do solo atingiu um máximo de  $3 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ . No período fim da recria o nível basal do  $\text{NO}_3^-$  do solo atingiu um máximo de  $2 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ , o  $\text{NO}_3^-$  do tratamento urina sem PNDR atingiu máximo de  $8,5 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e a urina com PNDR  $14 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ , o tratamento fezes sem PNDR atingiu máximo de  $2 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$  e a fezes com PNDR  $2 \text{ mg N/kg solo}^{-1}$ .

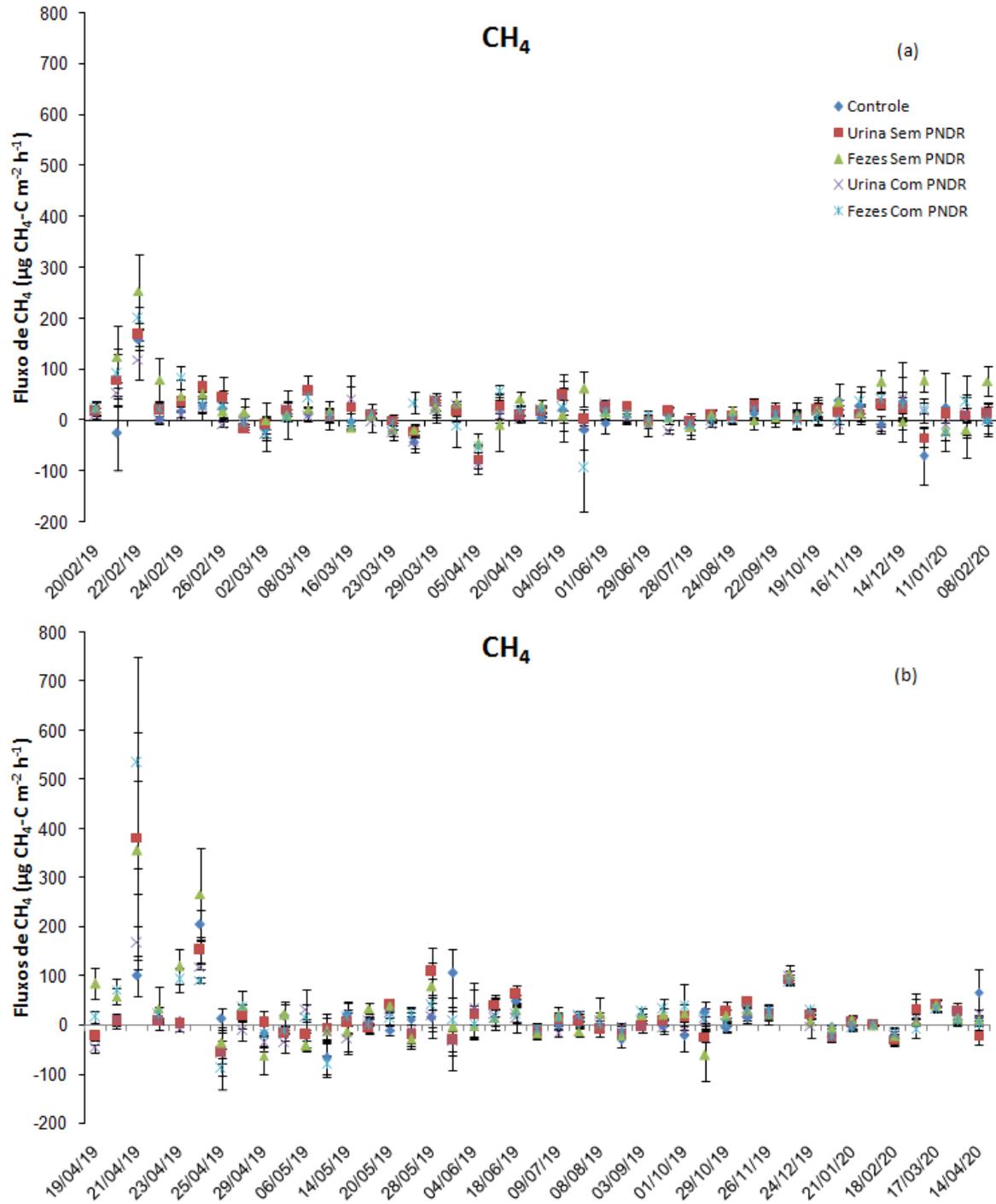
A aplicação de urina no solo elevou os níveis de  $\text{NO}_3^-$  do meio da recria em ambos os tratamentos. Este aumento foi nos primeiros 8 dias após aplicação e retornaram até o nível basal após esse período. Já no fim da recria, o teor  $\text{NO}_3^-$  foi maior e permaneceu acima do nível basal durante o período avaliado.



**Figura 11.** Concentração de  $\text{NO}_3^-$  na camada de 0-10 cm do solo, nos períodos meio (a) e fim (b) da recria.

### 3.2.3 Emissão de metano

Os picos de emissão de  $\text{CH}_4$  ocorreram logo após a implantação das excretas no solo. No período do meio da recria, o pico de emissão de  $\text{CH}_4$  ocorreu no terceiro dia após a implantação das excretas, retornando ao nível basal no 12º dia após a implantação (Figura 12). Entretanto, no período fim da recria o pico de emissão de  $\text{CH}_4$  ocorreu ao terceiro dia e retornou ao nível basal ao sétimo dia após a implantação (Figura 12).



**Figura 12.** Fluxo diário de  $\text{CH}_4$  ( $\mu\text{g CH}_4\text{-C m}^2 \text{h}^{-1}$ ) das excretas nos períodos meio (a) e fim (b) da recria.

Não houve interação entre período, tipo de excreta e tipo de suplemento ( $P=0,4831$ ), entre tipo de excreta e tipo de suplemento ( $P=0,6106$ ), entre período e tipo de excreta ( $P=0,6531$ ) e entre período e tipo de suplemento ( $P=0,3316$ ) (Tabela 5). A emissão acumulada de  $\text{CH}_4$  apresentou diferença entre períodos ( $P=0,0319$ ). No período do meio da recria foi observada maior emissão acumulada de  $\text{CH}_4$ , quando

comparada com a emissão acumulada de CH<sub>4</sub> no fim da recria (Tabela 5). A emissão acumulada de CH<sub>4</sub> não foi afetada pelos tipos de excretas (P=0,1607) e tipos de suplementos (P=0,1143) (Tabela 5).

Tabela 5. Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> (mg CH<sub>4</sub>-C m<sup>-2</sup>) de excretas de animais suplementados ou não com PNDR, em diferentes períodos da recria

Período da recria (P)	Suplemento (S)*	Excreta (E)		Média	P-valor	
		Fezes	Urina			
Meio da recria <sup>1</sup>	Sem PNDR	104,4(9,9)	53,4(23,5)	78,9	P	0,0319
	Com PNDR	35,8(32,2)	-5,7(38,2)	15,1	E	0,1607
	Média	70,1	23,9		S	0,1143
					ExS	0,6106
Fim da recria <sup>2</sup>	Sem PNDR	-3,14(60,5)	2,7(28,4)	-0,22	PxE	0,6531
	Com PNDR	11,10(45,3)	-42,83(16,3)	-15,87	PxS	0,3316
	Média	4,0	-20,1		PxExS	0,4831

\*Suplementos: sal mineral (sem PNDR) ou sal mineral mais glúten de milho a 0,3% de PC como fonte de PNDR (com PNDR). <sup>1</sup>Meio (excretas coletadas no meio da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/02/2019); <sup>2</sup>Fim (excretas coletadas no fim da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/04/2019).

Não houve interação entre períodos da recria e tipo de suplemento no fator de emissão de CH<sub>4</sub> (P=0,3395; Tabela 6). Os fatores de emissão das fezes não foram afetados pelo período (P=0,1381) e tipo de suplemento (P=0,5262). No meio da recria os fatores de emissão foram 0,34 e 0,12 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos tratamentos sem PNDR e com PNDR, respectivamente. Já no fim da recria os fatores de emissão das fezes sem PNDR e com PNDR foram -0,01 e 0,04 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup>, ano<sup>-1</sup> respectivamente.

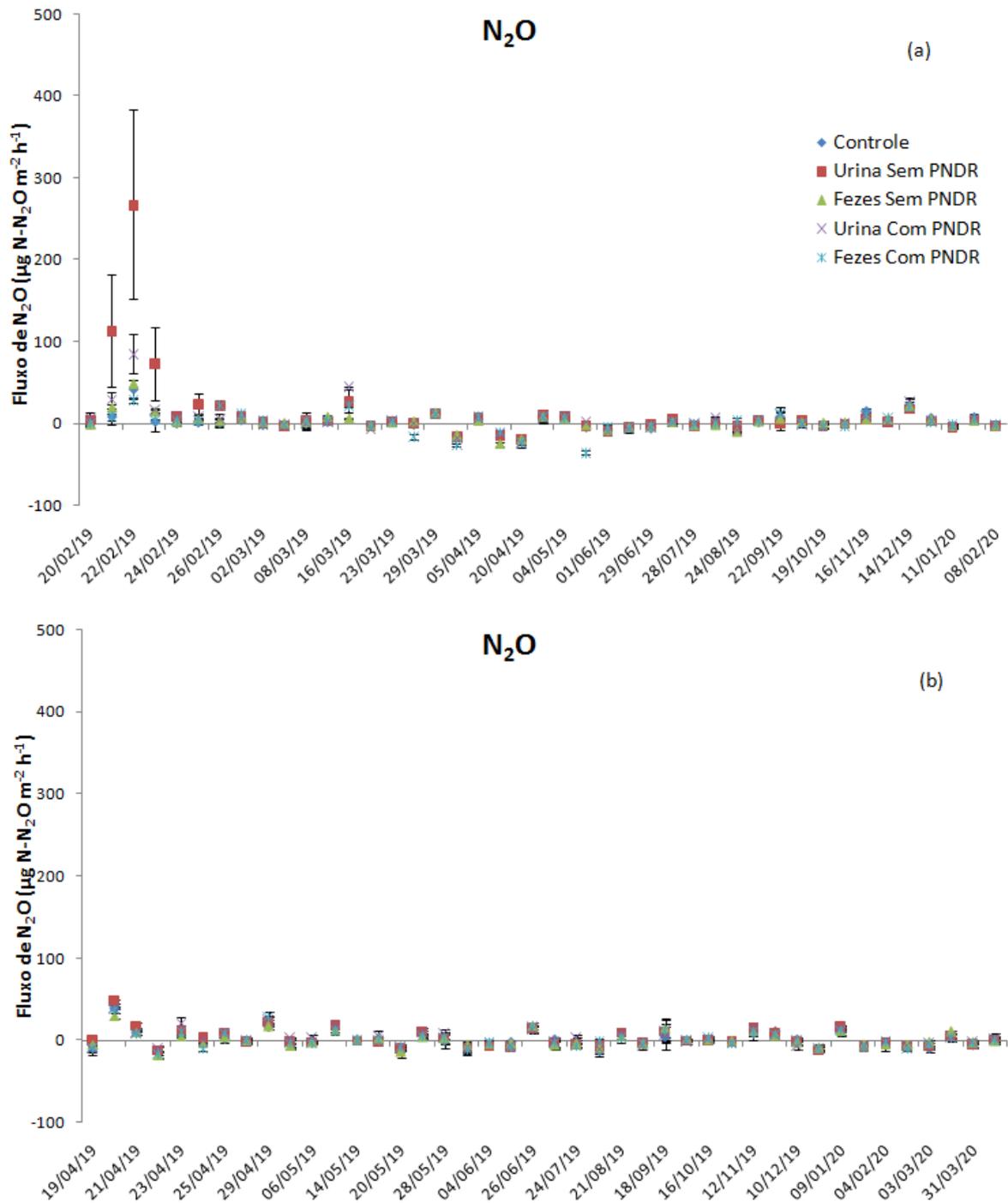
Tabela 6. Fator de emissão de CH<sub>4</sub> (kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) de fezes de animais suplementados ou não com PNDR, em diferentes períodos da recria.

Período da recria (P)	Suplemento (S)*	Fezes	P-valor	
Meio da recria <sup>1</sup>	Sem PNDR	0,34(0,03)		
	Com PNDR	0,12(0,10)		
	Média	0,23(0,06)	P	0,1381
			S	0,5262
Fim da recria <sup>2</sup>	Sem PNDR	-0,01(0,20)	PxS	0,3395
	Com PNDR	0,04(0,15)		
	Média	0,01(0,12)		

<sup>1</sup>Períodos: Meio (excretas coletadas no meio da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/02/2019), Fim (excretas coletadas no fim da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/04/2019). \*Suplementos: sal mineral (sem PNDR) ou sal mineral mais glúten de milho a 0,3% de PC como fonte de PNDR (com PNDR).

### 3.2.3 Emissão de óxido nitroso

A adição das excretas no solo elevou as emissões de N<sub>2</sub>O nos dois períodos avaliados. Os picos de emissão do N<sub>2</sub>O ocorreram logo após a implantação das excretas no solo. No período do meio da recria, o pico de emissão de N<sub>2</sub>O ocorreu no terceiro dia após a implantação das excretas, retornando ao nível basal no quinto dia após a implantação (Figura 13). Porém, no período fim da recria o pico de emissão de N<sub>2</sub>O ocorreu ao segundo dia e retornou ao nível basal ao oitavo dia após a implantação (Figura 13).



**Figura 13.** Fluxo diário de N<sub>2</sub>O ( $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^2 \text{h}^{-1}$ ) das excretas nos períodos meio (a) e fim (b) da recria.

Não houve interação entre período, tipo de excreta e tipo de suplemento ( $P=0,2075$ ), entre período e tipo de excreta ( $P=0,7786$ ), entre período e tipo de suplemento ( $P=0,8943$ ) (Tabela 7). A emissão acumulada de N<sub>2</sub>O não foi afetada pelos períodos ( $P=0,4698$ ), tipos de excretas ( $P=0,8265$ ) e tipos de suplementos ( $P=0,8707$ ) (Tabela 7).

Tabela 7. Emissão acumulada de N<sub>2</sub>O (mg N<sub>2</sub>O–N m<sup>-2</sup>) de excretas de animais suplementados ou não com PNDR, em diferentes períodos da recria.

Período da recria (P)	Suplemento (S)*	Excreta (E)		Média	P-valor	
		Fezes	Urina			
Meio da recria <sup>1</sup>	Sem PNDR	-0,5(5,7)	5,5(10,5)	2,5(5,7)	P	0,4698
	Com PNDR	6,4(1,5)	-4,1(4,3)	1,1(2,8)	E	0,8265
	Média	2,9(3,0)	0,7(5,6)		S	0,8707
					ExS	0,5615
Fim da recria <sup>2</sup>	Sem PNDR	6,5(8,4)	3,6(7,9)	5,1(5,5)	PxE	0,7786
	Com PNDR	3,3(4,4)	6,6(2,9)	5,0(2,5)	PxS	0,8943
	Média	4,9(4,5)	5,2(4,0)		PxExS	0,2075

<sup>1</sup>Meio (excretas coletadas no meio da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/02/2019), <sup>2</sup>Fim (excretas coletadas no fim da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/04/2019). \*Suplementos: sal mineral (sem PNDR) ou sal mineral mais glúten de milho a 0,3% de PC como fonte de PNDR (com PNDR). Erro padrão da média entre parêntesis.

Não houve interação entre período, tipo de excreta e tipo de suplemento (P=0,1727), entre tipo de excreta e tipo de suplemento (P=0,7390), entre período e tipo de excreta (P=0,7531) e entre período e tipo de suplemento (P=0,5155). Os fatores de emissão de N<sub>2</sub>O não foram afetados pelos períodos (P=0,4492), tipos de excretas (P=0,7575) e tipos de suplementos (P=0,7411) (Tabela 8). No período do meio da recria os fatores de emissão da urina nos tratamentos com e sem PNDR foram de -0,05% e 0,07 % respectivamente, e para fezes, os fatores de emissão nos tratamentos com e sem PNDR foram de 0,00% e 0,03%, respectivamente. Os fatores de emissão das fezes com e sem PNDR no fim da recria foram de 0,02% e 0,05%, respectivamente, para urina nos tratamentos com e sem PNDR os fatores de emissão foram de 0,09% e 0,03%, respectivamente.

Tabela 8. Fator de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  (%) de excretas de animais suplementados ou não com PNDR, em diferentes períodos da recria.

Período da recria (P)	Suplemento (S)*	Excreta (E)		Média	P-valor	
		Fezes	Urina			
Meio da recria <sup>1</sup>	Sem PNDR	0,00(0,03)	0,07(0,13)	0,03(0,21)	P	0,4492
	Com PNDR	0,03(0,01)	0,05(0,05)	-0,01(0,08)		
	Média	0,01(0,05)	0,01(0,22)			
Fim da recria <sup>2</sup>	Sem PNDR	0,05(0,06)	0,03(0,06)	0,04(0,13)	PxS	0,5155
	Com PNDR	0,02(0,02)	0,09(0,04)	0,05(0,07)		
	Média	0,03(0,10)	0,06(0,11)			

<sup>1</sup>Meio (excretas coletadas no meio da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/02/2019), <sup>2</sup>Fim (excretas coletadas no fim da fase da recria dos animais; implantação na área experimental em 19/04/2019). \*Suplementos: sal mineral (sem PNDR) ou sal mineral mais glúten de milho a 0,3% de PC como fonte de PNDR (com PNDR). Erro padrão da média entre parêntesis.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

Há uma grande preocupação com a dieta dos animais em especial com a quantidade de proteína bruta (PB) fornecida a eles. Se por um lado ocorre um incremento nutricional podendo elevar os índices produtivos dos animais, por outro lado, existem impactos negativos em razão das perdas de N oriunda de um sistema muitas vezes ineficiente, visto que o N perdido por bovinos pode chegar a 75% do N consumido. (Tamminga, 1992; Calsamiglia et al., 2010). Os resultados deste estudo indicam que as excretas de bovinos na fase de recria representam fontes potenciais de emissão de  $\text{NH}_3$  e as diferenças significativas nas emissões de  $\text{NH}_3$  foram ligadas ao tipo de excreta e período.

No fim da recria houve maior emissão de  $\text{NH}_3$  na urina que nas fezes, conforme observado por outros autores (Lessa, 2011; Bretas, 2020). Este resultado corrobora com os obtidos por Cardoso et al. (2019), que observaram maiores perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  na urina em comparação as fezes de animais mantidos em pastagem de *Urochloa brizantha* durante duas estações do ano, seca e chuvosa.

As emissões de  $\text{NH}_3$  via urina no período do meio da recria foram inferiores as emissões no período fim da recria dos animais. As condições climáticas durante o meio da recria, com maior volume de chuva (182mm) durante o período de avaliação da  $\text{NH}_3$ , resultaram em menores perdas de N das excretas, principalmente da urina. A menor volatilização de  $\text{NH}_3$  neste período está de acordo com dados da literatura de estudos conduzidos na mesma região que explicam que essas baixas emissões em períodos com grandes precipitações se devem a maior incorporação do N ao solo (Cardoso et al., 2019).

O fator climático também teve forte influência sobre a emissão de  $\text{NH}_3$  das fezes. No período fim teve um menor volume de chuvas, isso fez com que as fezes secassem mais rapidamente e criasse uma espécie de crosta sobre elas, atuando como uma barreira física, o que dificulta as perdas de  $\text{NH}_3$  (Petersen et al., 1998). Entretanto, a redução da emissão das fezes não foi estatisticamente significativa no presente estudo.

A suplementação com PNDR no meio da recria não aumentou as emissões de  $\text{NH}_3$  nas fezes quando comparado com o tratamento sem PNDR, mesmo com a maior quantidade de proteína que chegava ao intestino dos animais, e que poderia contribuir para o aumento do N fecal (Kebreab et al., 2002).

O glúten de milho, fonte utilizada como tratamento, tem em média 60% de PNDR (Valadares Filho et al., 2015), portanto, a fração que escapa da degradação dos microrganismos e que chega no intestino delgado do animal pode aumentar o aporte de proteína metabolizável (PM) (Camargo, 2020), porém, nem todo o N que chega ao intestino é digerido, sendo que uma fração do alimento pode ser indigestível por conta de algum processo químico ou de aquecimento que esse alimento pode ter passado, o que contribui com o N fecal. O fornecimento de uma fonte de PNDR provocou um pequeno aumento na quantidade de N presente nas fezes, porém, essa maior quantidade de N nas fezes dos animais suplementados com PNDR não aumentou as emissões de  $\text{NH}_3$  em nenhum dos períodos avaliados.

Os animais suplementados com PNDR apresentaram menor teor de N (1,80 g N/kg MS) e ureia (0,41 g N-ureia/L) na urina que os animais do grupo sem PNDR com um teor de N de 3,10 g N/kg MS e 1,52 g N-ureia/L de urina no fim da recria. Kebreab et al. (2002) relataram que o N urinário é afetado pela degradabilidade da proteína. A menor excreção de N pelos animais suplementados com o glúten de milho pode ter ocorrido devido ao glúten de milho também possuir uma fração de energia contribuindo para o bom sincronismo entre energia e proteína (Goes et al., 2013). A ingestão de N sem um aumento correspondente em energia pode causar desequilíbrio entre a disponibilidade de N e a captura de N pelos microrganismos em dietas ricas em PDR resultando em excesso de N no rúmen, que é convertido em ureia e o excesso pode ser excretado via urina. A excreção urinária de N está altamente correlacionada com a ingestão de N, sendo que o N contido na urina é facilmente perdido para atmosfera por conta da rápida hidrólise da ureia no solo (Kebreab et al., 2010; Lessa, 2011). Portanto a suplementação com uma fonte de PNDR pode melhorar a utilização do N pelo animal (Koenig e Beauchemin, 2018, Camargo, 2020) e reduzir a excreção de N na urina durante a recria, como pode ser verificado no presente estudo, onde o fornecimento de uma fonte de PNDR reduziu o teor de ureia na urina dos animais suplementados com glúten de milho.

Os fatores de emissão de amônia para fezes no meio (4,21%) e no fim da recria (3,39%) estão de acordo com os resultados obtidos por Lessa et al. (2014), que

encontram valores de fatores de emissão de 2,5% e 4,6% para fezes no período chuvoso e seco, respectivamente. No entanto Cardoso et al. (2019) encontraram fatores de emissão de fezes de 6,0% e 7,2% nas estações seca e chuvosa, respectivamente, os quais são superiores aos encontrados no presente estudo.

Os fatores de emissão de  $\text{NH}_3$  da urina dos animais suplementados com PNDR (13,91%) ou não suplementados (19,67%) são inferiores aos encontrados por outros pesquisadores da área (Lessa et al., 2014; Bretas et al., 2020). Os fatores de emissão de  $\text{NH}_3$  das excretas dos animais que receberam ou não suplementação com PNDR ficaram abaixo ao fator de emissão sugerido pelo IPCC (2019), que consideram que 21% do N total das excretas (fezes + urina) são perdidos através da volatilização de  $\text{NH}_3$ , demonstrando a necessidade de estudos que avaliem os reais valores das emissões de GEE na produção animal em condições de cada local, evitando superestimação dessas emissões.

#### 4.2 EMISSÕES DE $\text{CH}_4$

A suplementação com PNDR na quantidade de 0,3% do peso corporal não alterou os padrões de emissão de  $\text{CH}_4$  das excretas de bovinos de corte na fase de recria. A urina dos animais suplementados com PNDR no fim do período de recria apresentou menor teor de ureia, porém, não foi observada diferença na emissão do  $\text{CH}_4$ , também não foi observada diferença na emissão do  $\text{CH}_4$  das fezes, em função da suplementação, em ambos os períodos avaliados, mesmo com uma maior quantidade de N nas fezes dos animais suplementados com PNDR, o que poderia resultar em menor emissão de  $\text{CH}_4$  dado à maior oxidação do  $\text{CH}_4$  no solo, as alterações nas emissões de  $\text{CH}_4$  ocorrem em função do período de avaliação.

Nos dois períodos experimentais (meio e fim da recria), foram observados picos de emissão de  $\text{CH}_4$  logo após a implantação das excretas no solo. O valor máximo foi registrado no terceiro dia e houve uma redução significativa até próximo do índice basal logo após a primeira semana. Os resultados da presente pesquisa coincidem com o encontrado por Cardoso et al. (2019) e Bretas et al. (2020) que também observaram a redução das emissões de  $\text{CH}_4$  das fezes após uma semana, sendo explicado pelo fato de que as fezes quando aplicadas no solo encontram-se com maior

umidade, o que garante condições de anaerobiose para os microrganismos metanogênicos.

Não foram registrados novos picos de emissão após um novo umedecimento das fezes, ou seja, eventos de chuva não resultaram em aumento de fluxos de CH<sub>4</sub>. Estes resultados corroboraram com estudos realizados por Mazzeto et al. (2014), que observaram que em ambientes tropicais, após 30 dias, as fezes não são mais uma fonte importante de emissão de CH<sub>4</sub>.

A suplementação com PNDR não alterou a produção de CH<sub>4</sub>, mesmo com a maior quantidade N contida nas fezes dos animais suplementados com PNDR, o que poderia ter estimulado a oxidação do CH<sub>4</sub>, por afetar a população de bactérias metanotróficas. Bodelier e Laanbroek (2004) relataram que a oxidação pelas bactérias metanotróficas pode ser estimulado pela adição de N, devido à competição pela enzima monooxigenase. Entretanto, isso não foi observado em nosso estudo. Assim como observado por Cardoso et al. (2013), os grandes volumes de chuvas podem ter incorporado ao solo parte do material orgânico disponível para metanogênese, sem que se observassem diferenças na produção de CH<sub>4</sub>.

A maior produção de CH<sub>4</sub> das fezes ocorreu no período do meio da recria (70,1 mg CH<sub>4</sub>-C m<sup>-2</sup>). As emissões mais acentuadas nesse período podem ser explicadas pela alta temperatura, e maior EPSA devido ao grande volume de chuvas, após a implantação das excretas no solo, garantindo que as fezes permanecessem úmidas por mais tempo, condição que favorece a produção de CH<sub>4</sub> pelos microrganismos metanogênicos.

Cardoso et al. (2017), em pesquisa realizada na mesma região, também encontraram os maiores níveis de produção de CH<sub>4</sub> durante a estação chuvosa com temperaturas mais altas, em comparação com a menores emissões no inverno, quando as temperaturas e precipitação foram menores, pois, a temperatura eleva as taxas de respiração do solo, favorecendo a produção de CH<sub>4</sub> pelos microrganismos

A produção do CH<sub>4</sub> é favorecida em condições estritamente anaeróbias. As condições do meio da recria, com maior índice de chuvas favoreceram a formação e sítios de anaerobiose, tais condições elevam as taxas de metanogênese por criar mecanismos favoráveis aos microrganismos metanogênicos, como redução na concentração de O<sub>2</sub> (Saggar et al., 2004; Mazzeto et al., 2014; Cardoso et al., 2019).

Já o período do fim da recria, houve menor volume de chuva, condições não foram favoráveis para produção de CH<sub>4</sub>, fazendo com que as fezes secassem mais

rapidamente e limitassem as emissões de CH<sub>4</sub>. A menor umidade do solo associada a baixas temperaturas, quando foram aplicadas as fezes no campo, impactaram nos resultados de emissão durante esse período, refletindo em menor emissão de CH<sub>4</sub> (4,0 mg CH<sub>4</sub>-C m<sup>-2</sup>) das fezes. Em virtude das condições ambientais desfavoráveis, não foi identificada diferença das emissões entre tratamentos. O resultado do presente estudo está de acordo com a literatura, que esclarece que condições de solo seco reduzem a emissão de CH<sub>4</sub> (Cardoso et al., 2018).

Os fatores de emissão para excretas de bovinos Nelore no meio do período de recria, considerando uma excreção fecal de 10 kg de fezes frescas por dia (ORR et al., 2012), foram de 0,12 e 0,34 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, para os tratamentos com e sem suplementação com PNDR, não sendo encontrada diferença entre os tratamentos. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Cardoso et al. (2018), que reportam 0,15 e 0,35 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de fezes bovina, e inferiores ao fator de emissão estimado pelo IPCC (2019) de 1 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Já os fatores de emissão dos tratamentos do fim da recria tiveram valores ainda mais baixos, 0,04 e -0,01 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os tratamentos com e sem PNDR, respectivamente. Os resultados obtidos no presente estudo estão próximos aos 0,02 kg CH<sub>4</sub> cabeça<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> encontrado por Mazzeto et al. (2014) no estado de São Paulo na época do inverno, e indicam que a estimativa com valores sugerido pelo IPCC (2019) podem superestimar a produção de CH<sub>4</sub> das excretas de bovinos de corte na fase de recria no Brasil.

#### 4.3 ÓXIDO NITROSO

Em ambos os períodos da recria avaliados a maior produção de N<sub>2</sub>O ocorreu entre o terceiro e sétimo dia, o que também foi observado em outros trabalhos como de Lessa et al. (2014) no cerrado, Cardoso et al., (2019) em uma área próxima ao experimento, e regiões de clima temperado (Van Der Weerden et al., 2016). Nos trabalhos de Lessa et al (2014) e Cardoso et al. (2019) a produção de N<sub>2</sub>O persistiu por aproximadamente 50 dias, o que não foi observado nesse experimento.

Nosso estudo está de acordo com o encontrado na literatura, que relatam que baixas temperaturas e o EPSA abaixo de 60% diminuem a atividade microbiana e não favorece a produção de N<sub>2</sub>O (Lessa, 2011; Cardoso et al., 2019). Como observado

em outros trabalhos, foram observados picos no tratamento urina superiores ao tratamento fezes no início do período de recria, contudo, o solo por possuir uma boa capacidade de drenagem permitiu uma rápida infiltração da urina, que associada às chuvas levou a uma menor disponibilidade de N na urina para ser emitida como  $N_2O$  (Sordi et al., 2014)

A adição das excretas no solo também elevou o teor de N mineral nos dois períodos experimentais, contudo, no fim da recria as concentrações de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  foram maiores que no meio da recria. O baixo teor de N mineral no solo no meio da recria pode ter ocorrido devido à maior quantidade de chuvas no período, já a maior quantidade de N mineral no solo principalmente nos tratamentos com urina no fim da recria é decorrente da falta de precipitação. Grandes volumes de chuvas associada ao solo com boa drenagem pode favorecer a lixiviação do N presente na urina, em detrimento da formação de  $N_2O$  (Cardoso et al., 2019; Costa, 2015).

O menor teor de N mineral no solo das parcelas que receberam fezes é devido à forma de N presente na composição das fezes, considerado mais estável que o N da urina. O N fecal encontra-se principalmente na forma orgânica, com mineralização gradual, não possuindo valores tão elevados de N mineral como na urina (Costa, 2015). Apesar da quantidade de N mineral no solo nos tratamentos com urina ter sido maior no período fim que no meio da recria, esse acréscimo não aumentou de forma significativa as emissões de  $N_2O$  nos tratamentos com urina no período fim da recria.

A urina do tratamento suplementação com PNDR apresentou menor quantidade ureia que o tratamento sem PNDR. Em estudo realizado por Camargo (2020), a autora explica que a PNDR por ter uma baixa degradabilidade ruminal, proporciona maior quantidade de PM, promovendo maior retenção de N, o que reduz a excreção de N nas fezes e urina. Koenig e Beauchemin (2018) relataram que a suplementação com proteína de baixa degradação ruminal, pode promover mudança na rota e na forma química de excreção de N, e aumentar o potencial na captura e estabilidade do N nas fezes. Os benefícios ambientais da suplementação do PNDR seriam advindos de uma maior retenção de N pelo animal, isto é, menor excreção de N total no período da recria comparado com o suplementado sem PNDR (Camargo, 2020).

O IPCC (2019) recomendou experimentos de longo prazo para avaliar os fatores de emissão de  $N_2O$ . No entanto, a emissão de  $N_2O$  no presente estudo não persistiu por mais de três semanas, havendo inclusive a ocorrência de consumo de

N<sub>2</sub>O durante o período seco. Vários trabalhos em clima tropical encontraram o mesmo comportamento onde as emissões cessaram no máximo com aproximadamente 50 dias de avaliação após a aplicação das excretas (Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2019).

As condições de percolação e a alta absorção de N pelas Brachiarias podem explicar a não persistência das emissões de N<sub>2</sub>O por um longo período. Diferentemente do observado por Krol et al. (2016) em climas semi-áridos onde o N da excreta fica protegido da mineralização por ausência de água.

Cardoso et al. (2017) observaram que a concentração de N na urina e nas fezes é um dos principais fatores que determinam a emissão de N<sub>2</sub>O em clima tropical. Como não houve mudança da concentração de N na urina e nas fezes a ausência de efeito era esperada.

Estudos em regiões de clima temperado e tropical observaram que a urina é a principal via de emissão de N<sub>2</sub>O (Van Groenigen et al., 2005; Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2019). No entanto, no presente estudo isto não foi observado, em razão do solo permitir uma rápida infiltração da urina.

Os fatores de emissão para excretas de bovinos Nelore no meio do período de recria foram de 0,00% e 0,07%, respectivamente para fezes e urina do tratamento sem PNDR, e 0,03% e -0,05%, respectivamente para fezes e urina no tratamento com PNDR. Já os fatores de emissão dos tratamentos do fim da recria foram, 0,05% e 0,03%, respectivamente para fezes e urina do tratamento sem PNDR, e 0,02% e 0,09% respectivamente para fezes e urina do tratamento com PNDR. Estes resultados obtidos estão próximos aos fatores de emissão de 0,01% e 0,05%, respectivamente para fezes e urina, encontrados por Bretas et al. (2020) em região de clima tropical, e são inferiores aos obtidos por Cardoso et al. (2019) que encontraram fatores de emissão de 0,36%, 1,02%, respectivamente para fezes e urina durante a estação chuvosa e 0,32%, 0,47%, respectivamente para fezes e urina durante a estação seca. A nossa pesquisa indica que os fatores de emissão para excretas de bovinos de corte, de 2% sugerido pelo IPCC (2019), pode superestimar a produção de N<sub>2</sub>O da bovinocultura de corte na fase de recria no Brasil, o que demonstra a necessidade de avaliação nas emissões nas diferentes fases de criação.

Os resultados do presente estudo podem ser utilizados para o refinamento dos fatores de emissão de gases nacionais, balanços de gases de efeito estufa e análises

de ciclo de vida. Bem como para a definição de estratégias nutricionais que possibilitem a redução de impactos ambientais da recria de bovinos de corte.

## **5.CONCLUSÃO**

O efeito da suplementação de bovinos de corte na fase de recria com PNDR sobre as emissões de  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  é dependente do período da recria e tipo de excreta. Porém não foram observados efeitos sobre a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ . Os fatores de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  das excretas de bovinos de corte na fase de recria estão abaixo dos valores preconizados pelo IPCC, superestimando a quantidade emitida pela atividade em nossas condições de criação em clima tropical.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists, 15th ed. **Association of Official Analytical Methods Inc.**, Washington, D.C., USA, 1990.

ATKINSON, R. L., TOONE, C. D., ROBINSON, T. J., HARMON, D. L. LUDDEN, P. A. Effects of supplemental ruminally degradable protein versus increasing amounts of supplemental ruminally undegradable protein on site and extent of digestion and ruminal characteristics in lambs fed low-quality forage. **Journal of animal science**, v. 85, n. 12, p. 3322-3330, 2007.

BACH, A.; CALSAMIGLIA, S.; STERN, M. D. Nitrogen metabolism in the rumen. **Journal of dairy science**, v. 88, p. E9-E21, 2005.

BODELIER, P. L., LAANBROEK, H. J. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. **FEMS microbiology ecology**, v. 47, n. 3, p. 265-277, 2004.

BRETAS, I. L., PACIULLO, D. S., ALVES, B. J., MARTINS, M. R., CARDOSO, A. S., LIMA, M. A., RODRIUES, R. A. R., SILVA, F. F., CHIZZOTTI, F. H. 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, p. 106896, 2020.

CALSAMIGLIA, S.; FERRET, A.; REYNOLDS, C.K.; REYNOLDS, C.K; KRISTENSEN, N.B.; VAN VUUREN, A.M. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. **Animal**, v.4, p.1184-1196, 2010.

CAMARGO, K. D. V. **Influência da suplementação com proteína não-degradável no rúmen sobre o consumo, metabolismo e desempenho na recria de bovinos Nelore em pasto**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista, 2020.

CARDOSO, A. S, OLIVEIRA, S. C., JANUSCKIEWICZ, E. R., BRITO, L. F., DA SILVA MORGADO, E., 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, p. 104341, 2019.

CARDOSO, A. S., QUINTANA, B. G., JANUSCKIEWICZ, E. R., DE FIGUEIREDO BRITO, L., DA SILVA MORGADO, E., REIS, R. A., RUGGIERI, A. C. How do methane rates vary with soil moisture and compaction, N compound and rate, and dung addition in a tropical soil?. **International journal of biometeorology**, v. 63, n. 11, p. 1533-1540, 2018.

CARDOSO, A. S., QUINTANA, B. G., JANUSCKIEWICZ, E. R., DE FIGUEIREDO BRITO, L., DA SILVA MORGADO, E., REIS, R. A., RUGGIERI, A. C. N<sub>2</sub>O emissions from urine-treated tropical soil: Effects of soil moisture and compaction, urine composition, and dung addition. **Catena**, v. 157, p. 325-332, 2017.

CARDOSO, A. S., JANUSCKEWIZ, E. R., OLIVEIRA, S. C. BRITO, L. F. MORGADO, E. S. RUGGIERI, A. C. Emissão de metano por excretas de bovinas em pastagens de capim marandu durante o verão. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis-SC, v. 1, 2013.

COSTA, A. R. **Perdas gasosas de nitrogênio e atributos microbiológicos do solo em pastagens após aplicação de urina e fezes de bovinos**. Tese de doutorado - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 92 p, 2015.

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, n. Suppl 2, p. 292-302, 2013.

DOANE T.A.; HORWATH W.R. Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. **Analytical Letter** 36, 2713– 2722, 2003.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353 p, 2013.

FAO. Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. **Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership**. Rome, Italy, 2016.

FIGUEIREDO, D. M. D., PAULINO, M. F., DETMANN, E., MORAES, E. H. B. K. D., VALADARES FILHO, S. D. C., SOUZA, M. G. D. Fontes de proteína em suplementos múltiplos para bovinos em pastejo no período das águas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 12, p. 2222-2232, 2008.

FORSTER, J. C. Soil nitrogen. In: Alef K, Nannipieri P (eds) *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic, p. 79–87, 1995.

GONZALEZ-AVALOS, E.; RUIZ-SUAREZ, L. G. Methane emission factors from cattle manure in Mexico. **Bioresource Technology**, v. 80, n. 1, p. 63-71, 2001.

HOFFMANN, A. **Eficiência da substituição do farelo de algodão por DDGs na produção de bovinos de corte**. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2019) Guidelines for national greenhouse gas inventories. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Vol. 4. Agriculture, forestry and other land use, (2006). Disponível em < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> >

KEBREAB, E., FRANCE, J., MILLS, J. A. N., ALLISON, R., DIJKSTRA, J. A. dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 1, p. 248-259, 2002.

KLEIN, C.; HARVEY, M. Nitrous oxide chamber methodology guidelines. 146 **Global Research Alliance On Agricultural Greenhouse Gases**, Wellington, New Zealand. 2015.

KOENIG, K. M.; BEAUCHEMIN, K. A. Effect of feeding condensed tannins in high protein finishing diets containing corn distillers grains on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and route of nitrogen excretion in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 10, p. 4398-4413, 2018.

KROL, D. J., CAROLAN, R., MINET, E., MCGEOUGH, K. L., WATSON, C. J., FORRESTAL, P. J., LANIGAN G. J., RICHARDS, K. G. Improving and disaggregating N<sub>2</sub>O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 327-338, 2016.

LEONARDI, C.; STEVENSON, M.; ARMENTANO, L. E. Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows. **Journal of dairy science**, v. 86, n. 12, p. 4033-4042, 2003.

LESSA, A. C. R. **Emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia de urina e fezes bovina em pastagens**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2011.

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

LIMA, J. E. S., NASCENTE, A. S., DA SILVEIRA, P. M., LEANDRO, W. M.. Volatilização da amônia da ureia estabilizada com NBPT na adubação em cobertura da *Urochloa ruziziensis*. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

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, 2014.

NICHOLS, K.L., DEL GROSSO, S.J., DERNER, J.D., FOLLETT, R.F., ARCHIBEQUE, S.L., STEWART, C.E., PAUSTIAN, K.H. Nitrous oxide and methane fluxes from cattle

excrement on C3 pasture and C4-dominated short grass steppe. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 225, p. 104-115, 2016.

ORR, R. J., GRIFFITH, B. A., CHAMPION, R. A., COOK, J. E. Defaecation and urination behaviour in beef cattle grazing semi-natural grassland. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 139, n. 1-2, p. 18-25, 2012.

PETERSEN, S. O., SOMMER, S. G., AAES, O., SØEGAARD, K. Ammonia losses from urine and dung of grazing cattle: effect of N intake. **Atmospheric Environment**, v. 32, n. 3, p. 295-300, 1998.

SAGGAR, S., BOLAN, N. S., BHANDRAL, R., HEDLEY, C. B., LUO, J.. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 4, p. 513-544, 2004.

SORDI, A., DIECKOW, J., BAYER, C., ALBURQUERQUE, M.A., PIVA, J.T., ZANATTA, J.A., TOMAZI, M., DA ROSA, C.M., DE MORAES, A. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 94-103, 2014.

TAMMINGA, S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. **Journal of dairy science**, v. 75, n. 1, p. 345-357, 1992.

VALADARES FILHO, S.C.; MACHADO, P. A.S.; FURTADO, T.; CHIZZOTTI, M.L.; AMARAL, H.F. **Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes**. CQBAL 3.0. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 473p, 2015.

VAN DER WEERDEN, T. J., LUO, J., DI, H. J., PODOLYAN, A., PHILLIPS, R. L., SAGGAR, S., DE KLEIN, C. A. M., COX, N., ETTEMA, P., RYS, G. Nitrous oxide emissions from urea fertiliser and effluent with and without inhibitors applied to pasture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 219, p. 58-70, 2016.

VAN GROENIGEN, J. W., VELTHOF, G. L., VAN DER BOLT, F. J., VOS, A., KUIKMAN, P. J. Seasonal variation in N<sub>2</sub>O emissions from urine patches: effects of urine concentration, soil compaction and dung. **Plant and Soil**, v. 273, n. 1-2, p. 15-27, 2005.