

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 25/11/2022.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA FONTE E DOSE DE NITROGÊNIO NA  
EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, ACÚMULO  
DE FORRAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE *Urochloa*  
*brizantha* CV MARANDU**

**Darlina Caroline da Cruz Corrêa**

Engenheira Agrônoma  
Mestre em Ciência animal

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA FONTE E DOSE DE NITROGÊNIO NA  
EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, ACÚMULO  
DE FORRAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE *Urochloa*  
*brizantha* CV MARANDU**

**Darlana Caroline da Cruz Corrêa**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Cláudia Ruggieri**

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

Tese apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias –  
Unesp, Câmpus de Jaboticabal,  
como parte das exigências para a  
obtenção do Título de Doutora em  
Zootecnia.

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C824e | <p>Corrêa, Darlena Caroline da Cruz</p> <p>Efeito da fonte e dose de nitrogênio na emissão de gases de efeito estufa, acúmulo de forragem e composição química de <i>Urochloa brizantha</i> cv marandu / Darlena Caroline da Cruz Corrêa. -- Jaboticabal, 2021</p> <p>77 p. + 1 CD-ROM</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientadora: Ana Cláudia Ruggieri</p> <p>Coorientadora: Abmael da Silva Cardoso</p> <p>1. Pastagens adubos e fertilizantes. 2. óxido nitroso. 3. Volatilização de amônia. 4. Gases estufa. 5. Fator de Emissão. I. Título.</p> |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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 TESE: EFEITO DA FONTE E DOSE DE NITROGÊNIO NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, ACÚMULO DE FORRAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE *Urochloa brizantha* CV MARANDU

**AUTORA: DARLENA CAROLINE DA CRUZ CORRÊA**

**ORIENTADORA: ANA CLÁUDIA RUGGIERI**

**COORDENADOR: ABMAEL DA SILVA CARDOSO**

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

Prof. Dra. ANA CLÁUDIA RUGGIERI (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. RICARDO ANDRADE REIS (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. FELIPE NOGUEIRA DOMINGUES (Participação Virtual)  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM / Unaí/MG

Prof. Dr. BRUNO JOSÉ RODRIGUES ALVES (Participação Virtual)  
Embrapa Agrobiologia / Seropédica/RJ

Pós-Doutoranda VANESSA ZIRONDI LONGHINI (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 25 de março de 2021

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

DARLENA CAROLINE DA CRUZ CORRÊA – nascida em 26 de maio de 1992 no município de Castanhal, Pará, iniciou o curso de graduação em Agronomia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPa), Castanhal - PA, em março de 2010. Durante a graduação foi bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET), sob tutoria da Prof<sup>a</sup> Dra Louise Ferreira Rosal, e foi monitora da disciplina de Zootecnia sob orientação da Prof<sup>a</sup> Dra Célia Maria Costa Guimarães. Em fevereiro de 2015 diplomou-se Engenheira Agrônoma e em março do mesmo ano ingressou no Mestrado em Ciência Animal, com bolsa de estudos da Capes, na Universidade Federal do Pará – UFPa – Campus de Castanhal – PA, onde desenvolveu estudos na área de Forragicultura sob orientação do Prof. Dr. Felipe Nogueira Domingues. Recebeu o título de Mestre em Ciência Animal em fevereiro de 2017. Em março do mesmo ano, iniciou o Doutorado em Zootecnia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Campus de Jaboticabal – SP, com bolsa de estudos da Capes, na área de Forragicultura e pastagens sob orientação da Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri, e coorientação do Dr. Abmael da Silva Cardoso.

## **Epígrafe**

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.  
(Josué 1:9)

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Joana D'arc e Francisco, pelo amor, carinho, apoio e orações.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos meus pais, Joana D'arc e Francisco.

À toda a minha família, meus avós Darcy e Helena pelo indescritível amor, as minhas tias que sempre me apoiaram e me incentivaram nessa trajetória, a minha prima Amanda por sempre acreditar em mim e por me dar sempre uma palavra de ânimo, aos meus irmãos, tios e primos por todo tempo estarem em meu apoio.

À minha querida orientadora Ana Cláudia, pela oportunidade, por acreditar em mim e no meu trabalho, mesmo nos momentos em que falhei; pela amizade e ensinamentos durante esses quatro anos.

Ao meu coorientador Dr. Abmael Cardoso, pela ajuda, ensinamentos, amizade e toda contribuição nesta caminhada científica.

Ao Prof. Ricardo Reis pelo incentivo, amizade e contribuição ímpar na construção deste trabalho.

Aos meus amigos e funcionários do setor de Forragicultura e Pastagens e da Fazenda (FEPE/FCAV), Renato, Tião e Uanderson.

A todos os TT3 e estagiários do setor de Forragicultura e Pastagens, especialmente ao Pedro (Bombado) e ao Rodolfo (Coalho) que me ajudaram durante todo o experimento. À Natália (Tékinfin), Amanda (Budweiser), Nayara (Curtida) e Lourene (Birita) que me ajudaram na condução do experimento e que eu tive a oportunidade de coorientar.

Aos meus queridos amigos Ariana, Débora, Mariane, Marina e Nauara por toda ajuda concedida, amizade e companheirismo dentro e fora da Unesp.

A todos meus amigos do IFPA - Castanhal, que mesmo distantes sempre me incentivaram, em especial a Profa Dra Célia Guimarães, Thais, Thatiane e Virgínia que sempre me encham de alegria, e a cada encontro me mostram o valor da verdadeira amizade.

Aos meus inestimáveis amigos estrangeiros, que tive o prazer de conviver em Jaboticabal, Andrés, David, Fernando, Alex, Caled e Freddy, pelo companheirismo e alegrias compartilhadas.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP – Jaboticabal e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa – processos nº 2015/16631-5; 2017/11274-5; 2017/20279-0 e 2017/02914-0.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – processo nº 431713/2018-9.

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

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                  | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| RESUMO.....                                                                                                                                                      | ii     |
| ABSTRACT.....                                                                                                                                                    | iii    |
| LISTA DE TABELAS.....                                                                                                                                            | iv     |
| LISTA DE FIGURAS.....                                                                                                                                            | v      |
| CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....                                                                                                                           | 1      |
| 1. Introdução.....                                                                                                                                               | 1      |
| 2. Revisão de literatura.....                                                                                                                                    | 2      |
| 2.1. Pecuária e pastagens de gramíneas tropicais.....                                                                                                            | 2      |
| 2.2. <i>Urochloa brizanta</i> cv Marandu.....                                                                                                                    | 4      |
| 2.3. Respostas das gramíneas forrageiras ao nitrogênio.....                                                                                                      | 5      |
| 2.4. Fertilizantes nitrogenados.....                                                                                                                             | 7      |
| 2.5. Os gases de efeito estufa e a pecuária.....                                                                                                                 | 10     |
| 2.6. Volatilização de amônia por fertilizantes nitrogenados.....                                                                                                 | 14     |
| 3. Referências.....                                                                                                                                              | 17     |
| CAPÍTULO 2 - Ammonia volatilization, forage accumulation, and nutritive value of marandu palisade grass pastures in different N sources and doses.....           | 25     |
| Abstract.....                                                                                                                                                    | 25     |
| Introduction.....                                                                                                                                                | 26     |
| Materials and methods.....                                                                                                                                       | 28     |
| Results.....                                                                                                                                                     | 33     |
| Discussion.....                                                                                                                                                  | 41     |
| Conclusion.....                                                                                                                                                  | 47     |
| References.....                                                                                                                                                  | 48     |
| CAPÍTULO 3 – Are CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> and N <sub>2</sub> O emissions from soil affected by the sources and doses of N in warm-season pastures?..... | 57     |
| Abstract.....                                                                                                                                                    | 57     |
| Introdution.....                                                                                                                                                 | 57     |
| Materials and methods.....                                                                                                                                       | 58     |
| Results.....                                                                                                                                                     | 60     |
| Discussion.....                                                                                                                                                  | 68     |
| Conclusions.....                                                                                                                                                 | 73     |
| References.....                                                                                                                                                  | 74     |

**EFEITO DA FONTE E DOSE DE NITROGÊNIO NA EMISSÃO DE GASES DE  
EFEITO ESTUFA, ACÚMULO DE FORRAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA  
DE *Urochloa brizantha* CV MARANDU**

**RESUMO** – A intensificação da produção em pastagens ocasionou o aumento do uso de fertilizantes nitrogenados, prática que merece atenção devido ao alto potencial de perda de nitrogênio (N) por volatilização, e que também pode alterar os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) do solo como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e metano (CH<sub>4</sub>). A magnitude dessas emissões em pastagens tropicais ainda é pouco conhecida e o entendimento dos fatores que as modificam pode ajudar a mitigar a emissão de GEE e melhorar a eficiência da fertilização com N. O objetivo desta pesquisa foi investigar os efeitos de três fertilizantes (ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio) aplicados de forma única e parcelada, e quatro doses (0, 90, 180 e 270 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) de N, nos fluxos de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, na volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) e nas características produtivas e químicas da forragem em pastagem de capim *U. brizantha* cv Marandu. A captação do N perdido como NH<sub>3</sub> foi realizada de acordo com a técnica de câmaras semi-abertas. Para avaliação da forragem, foram feitas parcelas de 3x4 m manejadas em regime de cortes a uma altura de dossel de 30 cm e resíduo de 15 cm e realizadas as análises químicas de proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDN) e fibra em detergente neutro (FDA). As emissões de GEE foram medidas usando câmaras estáticas fechadas e as análises dos gases realizadas por cromatografia gasosa. As perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> provenientes dos fertilizantes com N nas formas nítrica e amoniacal foram menores que a da ureia, e o parcelamento da fertilização reduziu em média 47% as perdas de N. A fertilização nitrogenada aumentou linearmente o acúmulo de forragem apresentando médias de 232, 264, 285 e 304 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> nas doses de 0, 90, 180 e 270 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Os teores de PB e FDN aumentaram linearmente com o aumento das doses de N. Os fatores de emissão (FE) de NH<sub>3</sub> foram de 20,69; 3,70 e 2,82% nos fertilizantes ureia, nitrato e sulfato de amônio, respectivamente, diferindo dos padrões estabelecidos pelo IPCC. Os fluxos de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> do solo não variaram em função dos fertilizantes e doses de N. Os fluxos de GEE diferiram em função das condições climáticas e as principais variáveis determinantes que controlam as emissões foram espaços porosos saturados com água (%EPSA), temperatura e teor de (N amoniacal) N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Os FE de N<sub>2</sub>O foram 0,35; 0,24 e 0,21% nos fertilizantes ureia, nitrato e sulfato de amônio, quando a fertilização foi parcelada, diferindo do FE padrão do IPCC. As condições ambientais impactaram diretamente nas respostas da planta e dos gases. A utilização de fertilizantes alternativos a ureia pode diminuir as perdas de N por volatilização e aumentar o acúmulo de forragem, ao passo que, o fracionamento da fertilização, além de diminuir perdas de NH<sub>3</sub> reduzem as emissões de N<sub>2</sub>O, mostrando-se uma alternativa para a mitigação de GEE.

**Palavras-chave:** Fertilizantes nitrogenados, capim-marandu, volatilização, N<sub>2</sub>O, fator de emissão, gases de efeito estufa.

**EFFECT OF NITROGEN SOURCE AND DOSE ON GREENHOUSE GAS  
EMISSION, FORAGE ACCUMULATION AND CHEMICAL COMPOSITION OF  
*Urochloa brizantha* CV MARANDU**

**ABSTRACT** – The intensification of pasture production increased nitrogen (N) fertilizers use. A practice that deserves attention due to the high potential for N loss through volatilization, which can also alter the fluxes of greenhouse gases (GHG) from the soil, such as dioxide carbon (CO<sub>2</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), and methane (CH<sub>4</sub>). The magnitude of these emissions in tropical pastures is still poorly understood. Understanding the factors that modify them may help mitigate GHG emissions and improve the N fertilization efficiency. The objective of this research was to investigate the effects of different sources (urea, ammonium sulfate and ammonium nitrate) applied in a unique and parceled way, and doses (0, 90, 180 and 270 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) of N, in the CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> fluxes, in the ammonia (NH<sub>3</sub>) volatilization and in the forage production and chemical characteristics in pasture of *U. brizantha* cv Marandu grass. The capture of N lost as NH<sub>3</sub> volatilized was performed according to the semi-open chamber technique. For forage evaluation, plots of 3x4 m were managed in a cutting regime at a canopy height of 30 cm and stubble height of 15 cm and the chemical analysis of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were performed. Greenhouse gases emissions were measured using closed static chambers and gas analysis performed by gas chromatography. Ammonia volatilization from nitrate and ammonium were lower than urea, and parceled fertilization reduced on average 47% N losses. Nitrogen fertilizer linearly increased forage accumulation (232, 264, 285, and 304 kg ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> at doses of 0, 90, 180, and 270 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, respectively. The contents of CP and NDF were significantly affected by increasing doses of N, with linear effect of the two variables. The emission factors (EF) of NH<sub>3</sub> were 20.69, 3.70, and 2.82% for urea, nitrate, and ammonium sulfate, respectively, differing from the default value estimated by the IPCC. Soil N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, and CO<sub>2</sub> fluxes did not vary as a function of N sources and doses. The GHG fluxes differed depending on climatic conditions and the main determinant variables controlling emissions were water filled pore spaces (%WFPS), temperature, and (amoniacal N) NH<sub>4</sub>-N content. The EF of N<sub>2</sub>O were 0.35, 0.24, and 0.21% in urea, nitrate and ammonium sulfate fertilizers when fertilization was applied in split doses, differing from the IPCC standard EF. Environmental conditions directly impacted plant and gas responses. The use of alternative sources to urea can decrease N losses by NH<sub>3</sub> volatilization and increase forage accumulation, while split fertilization, besides decreasing NH<sub>3</sub> losses, reduces N<sub>2</sub>O emissions, proving to be an alternative for GHG mitigation.

**Keywords:** Nitrogen fertilizers, marandu grass, volatilization, N<sub>2</sub>O, emission factor, greenhouse gases.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | pg     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| CAPÍTULO 2 - Ammonia volatilization, forage accumulation, and nutritive value of Marandu palisade grass pastures in different N fertilizers and doses.....                                                                                                                                         | 25     |
| Table 1. Emission factor (EF) in marandu palisade grass pastures in fertilization with different N sources and doses in two experiments...                                                                                                                                                         | 37     |
| Table 2. Crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) of marandu palisade grass pastures in fertilization with different N fertilizers and doses.....                                                                                                             | 40     |
| <br>CAPÍTULO 3 - Are CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , and N <sub>2</sub> O Emissions from Soil Affected by the Sources and Doses of N in Warm-Season Pasture?.....                                                                                                                              | <br>57 |
| Table 1. Soil chemical attributes of the experimental area at the depth of 0 – 20 cm, Jaboticabal– SP.....                                                                                                                                                                                         | 58     |
| Table 2. Multiple linear regression to determine the association between edaphoclimatic variables and greenhouse gas emissions.....                                                                                                                                                                | 62     |
| Table 3. Cumulative CH <sub>4</sub> (mg CH <sub>4</sub> m <sup>-2</sup> ), CO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> ) and N <sub>2</sub> O (mg N <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> ) emissions from Marandu pastures fertilized with different N sources and doses in two experiments..... | 68     |
| Table 4. Anual N <sub>2</sub> O emission fator (g N per 100 g N applied).....                                                                                                                                                                                                                      | 68     |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | pg |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1  |
| Figura 1. Ciclo do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 6  |
| <br>CAPÍTULO 2 - Ammonia volatilization, forage accumulation, and nutritive value of Marandu palisade grass pastures in different N fertilizers and doses.....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 25 |
| Fig. 1. Daily air temperature (minimum, medium, and maximum T; °C) and daily rainfall (R; mm). Data from the Agrometeorological Station, Department of Exact Sciences, FCAV / UNESP. (a) Experiment 1, (b) Experiment 2, and (c) Experiment 3. Arrows indicate fertilization events.....                                                                                                                                                         | 34 |
| Fig. 2. Daily ammonia volatilization in marandu palisade grass pastures under fertilization with fertilizers and doses of N. (a) experiment 1, single application (b) experiment 2, 1st fertilization, (c) experiment 2, 2 <sup>nd</sup> fertilization, and (d) experiment 2, 3rd fertilization. U : urea, N : ammonium nitrate, S : ammonium sulfate.....                                                                                       | 36 |
| Fig. 3. Forage accumulation rate (FAR, kg ha <sup>-1</sup> DM day <sup>-1</sup> ) and total forage accumulation (kg ha <sup>-1</sup> ) of marandu palisade grass pasture in fertilization with N fertilizers and doses. (a) effect of N fertilizers on the FAR, (b) effect of doses of N on the FAR, (c) effect of cuts on the FAR, (d) effect of N fertilizers on the total accumulation, € effect of doses of N on the total accumulation..... | 38 |
| <br>CAPÍTULO 3 - Are CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , and N <sub>2</sub> O Emissions from Soil Affected by the Sources and Doses of N in Warm-Season Pasture?.....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 57 |
| Figure 1. Daily air temperature (minimum, medium and maximum) and daily rainfall. Data were obtained from the Agrometeorological Station, Department of Exact Sciences, FCAV / UNESP, located 1.5 km from the experiment site. Experiment 1 (a) and 2 (b).....                                                                                                                                                                                   | 61 |
| Figure 2. Descriptive averages of water-filled pore space (%) in experiment 1 (a) and 2 (b).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 62 |
| Figure 3. Descriptive of average CH <sub>4</sub> fluxes (µg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) from pastures managed with N fertilizers in two experiments. (A) Urea, (B) ammonium nitrate, and (C) ammonium sulfate in experiment 1. (D)                                                                                                                                                                                                         | 64 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Urea, (E) ammonium nitrate, and (F) ammonium sulfate in experiment 2.....                                                                                                                                                                                                                                            |    |
| Figure 4. Descriptive average of CO <sub>2</sub> fluxes (mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) of pastures fertilized with N fertilizers in two experiments: experiment 1: (A) urea, (B) ammonium nitrate, (C) ammonium sulfate; experiment 2: (D) urea, (E) ammonium nitrate, (F) ammonium sulfate.....              | 65 |
| Figure 5. Descriptive averages of N <sub>2</sub> O fluxes (μg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) from pastures managed with N fertilizers in two experiments. (A) Urea, (B) ammonium nitrate, and (C) ammonium sulfate in experiment 1. (D) Urea, (E) ammonium nitrate, and (F) ammonium sulfate in experiment 2..... | 66 |
| Figure 6. Descriptive averages of NH <sub>4</sub> -N content of soil (mg NH <sub>4</sub> -N kg <sup>-1</sup> dry soil). Experiment 1 (A) and 2 (B).....                                                                                                                                                              | 67 |
| Figure 7. Descriptive averages of NO <sub>3</sub> -N content of soil (mg NO <sub>3</sub> -N kg <sup>-1</sup> dry soil). Experiment 1 (A) and 2 (B).....                                                                                                                                                              | 67 |



## **CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais**

### **1. INTRODUÇÃO**

Devido ao aumento da população global e consequente demanda por mais alimentos, os sistemas de produção de ruminantes estão em constante intensificação, visando aumentar a eficiência na exploração das áreas de pastagens e o aumento do lucro. Desta forma, as diferentes práticas de manejo adotadas interferem direta e indiretamente nos fluxos de gases de efeito estufa (GEE). O setor agropecuário é responsável por 31,3% das emissões de GEE no Brasil, sendo responsável por 61% e 82% das emissões totais brasileiras de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ), respectivamente (MCTI, 2017).

Na intensificação dos sistemas de produção pecuária, a combinação do uso de tecnologias, como a melhoria das técnicas de manejo do pasto e do incremento na suplementação alimentar dos rebanhos, tem potencial para melhorar a produtividade animal e das pastagens, sendo possível contribuir para mitigação das emissões de GEE. Neste cenário, a produção forrageira tem importância fundamental, e a fertilização nitrogenada é uma das práticas utilizadas para maximizar as produções de forragem e melhorar sua qualidade (DUPAS et al., 2016).

A importação de fertilizantes pelo Brasil tem aumentado consideravelmente. De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO), atualmente o país é o quarto no ranking dos maiores consumidores de fertilizantes sintéticos do mundo, sobretudo de fertilizantes nitrogenados sendo que o aumento desta utilização está vinculado diretamente a crescente fertilização de pastagens (PIRES et al., 2015; TIRITAN et al., 2016). Ao passo que a fertilização com nitrogênio (N) melhora as características produtivas e químicas da forragem, o aumento deposição de N também tem impacto nas perdas de N para o sistema e nos fluxos de GEE do solo (HOFMAN e CLEEMPUT, 2004; JONES et al., 2005).

A fertilização nitrogenada, especialmente com ureia, provoca perdas principalmente por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , resultando em menor eficiência de uso de N e maiores preocupações ambientais (HARRISON e WEBB, 2001; RAIJ, 2017). Nessa perspectiva, o emprego de

fertilizantes que ocasionem menores perdas é uma estratégia capaz de aumentar a eficiência de utilização do N pelas plantas e diminuir as emissões de GEE (LIU et al., 2017).

São amplos os estudos avaliando o efeito da deposição de N em diferentes ecossistemas, contudo, o impacto da deposição de N na produção e/ou consumo de GEE e nas perdas por volatilização de amônia em pastagens não é bem compreendido, e pesquisas que reportam os fluxos de gases do solo e características da forragem em função de diferentes fertilizantes ainda não foram realizadas em pastagens tropicais.

As hipóteses desta pesquisa são: i) as emissões de GEE são diferentes entre os fertilizantes nitrogenados e aumentam conforme a elevação da dose ii) as menores perdas de N por volatilização são verificadas nos fertilizantes com N na forma amoniacal e nítrica; iii) o aumento na dose de N aumenta a produção e melhora a composição química da forragem; iv) existe variação nos fluxos de gases de acordo com as condições climáticas da região.

Em função das hipóteses apresentadas os dois objetivos principais desta Tese são: i) Quantificar as emissões de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) e a volatilização de  $\text{N-NH}_3$  do solo em pastos de *Urochloa brizantha* cv marandu sob fertilização nitrogenada em diferentes condições climáticas ii) Avaliar o efeito das diferentes fertilizações no acúmulo e na composição química da forragem.

### 3. REFERÊNCIAS

- Andrade RG, Bolfe ÉL, Victoria DC, Nogueira SF (2016) Recuperação de pastagens no cerrado. **AgroAnalysis** 36:30-32.
- Bento CB, Filoso, S, Pitombo LM, Cantarella H, Rossetto R, Martinelli LA, do Carmo JB. Impacts of sugarcane agriculture expansion over low-intensity cattle ranch pasture in Brazil on greenhouse gases (2018) **Journal of environmental management** 206:980-988.
- Boddey RM, Macedo R, Tarré RM, Ferreira E, de Oliveira OC, Rezende DP, Cantarutti RB, Pereira JM, Alves BJR, Urquiaga S (2004) Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 103:389-403.
- Bodelier PL, Hahn AP, Arth IR, Frenzel P (2000) Effects of ammonium-based fertilisation on microbial processes involved in methane emission from soils planted with rice **Biogeochemistry**, 51:225-257.
- Bolan NS, Saggar S, Luo J, Bhandral R, Singh J (2004) Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: processes, measurements and modeling, environmental implications, and mitigation. **Advances in agronomy** 84:120.
- Bouwman AF (1990) **Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. In: Bouwman, A. F. (Ed.), Soils and the Greenhouse Effect. John Wiley, New York, p. 61– 127.
- Butterbach-Bahl K, Baggs EM, Dannenmann M, Kiese R, Zechmeister-Boltenstern, S (2013) Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? **Phil. Trans. R. Soc. B** 368(1621), 20130122.
- Cabral CEA, da Silva Cabral L, Silva EMB, dos Santos Carvalho K, Kroth BE, Cabral CHA (2016) Resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a fertilizantes nitrogenados associados ao fosfato natural reativo. **Comunicata Scientiae** 7:66-72.
- Cantarella H (2007) Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. **Informações Agronômicas IPNI** 120:12-13.
- Cantarella H, Trivelin PCO, Contin TLM, Dias FLF, Rossetto R, Marcelino R, Coimbra RB, Quaggio JA (2008) Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola** 65:397-401.
- Cardoso AS, Barbero RP, Romanzini EP, Teobaldo RW, Ongaratto F, Fernandes MHMR, Ruggieri AC, Reis RA (2020) Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in *Brachiaria* Grasslands. **Sustainability** 12:6656.
- Cardoso A da S, Alves BJR, Urquiaga S, Boddey RM (2018) Effect of volume of urine and mass of faeces on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions of dairy-cow excreta in a

tropical pasture. **Animal Production Science** 58:1079-1086.

Cardoso A da S, de Figueiredo Brito L, Januszkiewicz E R, da Silva Morgado E, Barbero R P, Koscheck JFW, Reis RA, Ruggieri AC (2017) Impact of grazing intensity and seasons on greenhouse gas emissions in tropical grassland. **Ecosystems** 20:845-859.

Cardoso A da S, Oliveira S C, Januszkiewicz ER, Brito LF, da Silva Morgado E, Reis RA, Ruggieri AC (2019) Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil & Tillage Research** 194:104341.

Cardoso AN, Saminês TC, Vargas A (2001) Fluxo de Gases-traço de Efeito Estufa na Interface Solo / Atmosfera em Solos de Cerrado. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Embrapa Cerrados** 17:23.

Carvalho ZG, Sales ECJD, Monção FP, Vianna MCM, Silva EA, Queiroz DS (2019) Morphogenic, structural, productive and bromatological characteristics of Braquiária in silvopastoral system under nitrogen doses. **Acta Scientiarum. Animal Sciences** 41.

Conrad R, Seiler W, Bunse G (1983) Factors influencing the loss of fertilizer nitrogen into the atmosphere as nitrogen oxide. **Journal of Geophysical Research** 88:6709-6718.

Corrêa DCC, Cardoso A da S, Souza NCS, Toniello AD, Reis RA, Ruggieri AC (2018) Effect of nitrogen source and level on ammonia volatilization in marandu-grass pasturelands. In: 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORAGES **Anais...** Lavras: UFLa, 2018. ISBN: 978.85.8179.153-1.

Corrêa LA, Santos PM (2003) **Manejo e utilização de plantas forrageiras dos gêneros *Panicum*, *Brachiaria* e *Cynodon***. Embrapa Pecuária Sudeste. (INFOTECA-E Documentos, 34). ISSN 1518-4757.

Costa KA de P, Oliveira IP de, Faquin V (2006) **Fertilização Nitrogenada para Pastagens do Gênero *Brachiaria* em solos do Cerrado**. (Documentos Embrapa Arroz e Feijão) ISSN 1678-9644; 192.

Davidson EA (1991) **Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems**. In: Rogers, J.E., Whitman, W.B. (Eds.), Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrogen Oxides, and Halomethanes. American Society of Microbiology, Washington DC, p. 219-235.

de Bona FD, Fedoseyenko D, Von Wirén N, Monteiro FA (2011) Nitrogen utilization by sulfur-deficient barley plants depends on the nitrogen form. **Environmental and Experimental Botany** 74:237-244.

de Bona FD, Schmidt F, Monteiro FA (2013) Importance of the nitrogen source in the grass species *Brachiaria brizantha* responses to sulfur limitation. **Plant Soil** 373:201-216.

De Moraes, RF, Boddey, RM, Urquiaga, S, Jantalia, CP, Alves, BJ (2013)

Ammonia volatilization and nitrous oxide emissions during soil preparation and N fertilization of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Soil Biology and Biochemistry** 64:80-88.

Delbem FC, Scabora MH., Soares Filho V, Heinrichs R, Crociolli CA, Cassiolato AMR (2011) Fertilizantes e doses de fertilização nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum. Agronomy** 33:361-367.

Delevatti LM, Cardoso AS, Barbero RP, Leite RG, Romanzini EP, Ruggieri AC, Reis RA (2019) Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific reports** 9:7596.

Di, H. J. e Cameron, K. C. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: fertilizers, factors and mitigating strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, n. 3, p. 237-256, 2002.

Dias-Filho MB (2014) **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. (Embrapa Amazônia Oriental-Documentos INFOTECA-E).

Dobbie KE, McTaggart IP, Smith KA (1999) Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres** 104:26891-26899.

Dupas E, Buzetti S, Rabêlo FHS, Sarto AL, Cheng NC, Galindo FS, Dinalli RP, de Niro Gazola R (2016) Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen fertilizers in the Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science** 10:1330.

Eckard RJ, Chen D, White RE, Chapman DF (2003) Gaseous nitrogen loss from temperate perennial grass and clover dairy pastures in south-eastern Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, 54:561-570.

FAO. **Food and Agriculture Organization**. Disponível em:<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>> Acesso em: 20 de outubro de 2019.

Ferraz JBS, Felício PE (2010) Production systems—an example from Brazil. **Meat Science** 84:238–243.

Firestone MK, Davidson EA (1989) Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: Andrea MO and Schimel DS (Eds.) **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. John Wiley and Sons, New York, NY, p. 7-27.

Forrestal PJ, Harty M, Carolan R, Lanigan GJ, Watson CJ, Laughlin RJ, McNeill G, Chambers BJ, Richards KG (2016) Ammonia emissions from urea, stabilized urea and calcium ammonium nitrate: insights into loss abatement in temperate grassland. **Soil use and Management** 32:92-100.

Gimenes FDA, da Silva SC, Fialho CA, Gomes MB, Berned A, Gerdes L, Colozza MT (2011) Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu

sob pastejo rotativo e fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 46: 751-759.

Gurgel ÂC e Costa CF (2015) **Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira: uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do Plano ABC de 2012 a 2023**. (Observatório do Plano ABC) p.1-32.

Harrison R e Webb J (2001) A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy** 73:65–108.

Hofman G e Van Cleemput O (2004) **Soil and plant nitrogen**. 1ª Ed. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.

Hütsch BW (1998) Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. **Biology and Fertility of Soils** 28:27–35.

Hütsch BW (2001) Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production - invited paper. **European Journal of Soil Science** 14:237–260.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 2017: resultados preliminares. Disponível em: < [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro\\_2017\\_resultado\\_s\\_preliminares.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultado_s_preliminares.pdf) > Acesso em: outubro de 2019. ISSN: 01036157. 2018.

IFA e IPNI (2017) **Assessment of Fertilizer Use by Crop at the Global Level**. International Fertilizer Association (IFA) and International Plant Nutrition Institute (IPNI). Disponível em: < <https://www.ifastat.org/plant-nutrition> > Acesso em: outubro de 2019.

IPCC (2019) Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. P. International Panel on Climate Change (IPCC). p. 546-554.

IPCC (2006) **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. P. International Panel on Climate Change (IPCC). p. 546-554.

Jones SK, Rees RM, Skiba UM, Ball BC (2005) Greenhouse gas emissions from a managed grassland. **Global and Planetary Change** 47: 201-211.

Kreuzer M e Hindrichen IK (2006) Methane mitigation in ruminants by dietary means: The role of their methane emission from manure. In: 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE. Zurich: Switzerland. **International Congress Series**. 1293:199–208

Leal DM, França ADS, Oliveira LG, Correa DS, Arnhold E, Ferreira RN, Bastos DC, Brunes LC (2017) Fracionamento de carboidratos e proteínas da *Brachiaria* híbrida 'Mulato II' sob fertilização nitrogenada e regime de cortes. **Archivos de zootecnia** 66:181-188.

LAPING - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento

(2018). Disponível em: <<https://pastagem.org/atlas/map>> Acesso em: 18 mai. 2021.

Lessa ACR, Madari BE, Paredes DS, Boddey RM, Urquiaga S, Jantalia CP, Alves BJR (2014) Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 103:190–194.

Lima JE, Nascente AS, Leandro WM, Silveira PMD (2016) *Urochloa ruziziensis* responses to fertilizers and doses of urea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 20:401-407.

Liu S, Wang JJ, Tian Z, Wang X, Harrison S (2017) Ammonia and greenhouse gas emissions from a subtropical wheat field under different nitrogen fertilization strategies. **Journal of Environmental Sciences** 57:196-210.

Longhini VZ, Cardoso AS, Berça AS, Boddey RM, Reis RA, Dubeux Jr, JCB, Ruggieri AC (2021) Nitrogen supply and rainfall affect ammonia emissions from dairy cattle excreta and urea applied on warm-climate pastures. **Journal Environmental Quality** 49:1453-1466.

Lopes CM, Paciullo DSC, Araújo SAC, Gomide CAM, Morenz MJF, Villela SDJ (2017) Herbage mass, morphological composition and nutritive value of signal grass, submitted to shading and fertilization levels. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 69:225–233.

MAPA. **Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento** (2017) Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-de-2017-estimado-em-r-548-milhoes-o-maior-em-30-anos> Acesso em: outubro de 2018.

Marques DL, de Souza França AF, Oliveira LG, Arnhold E, Ferreira RN, Correa DS, Bastos DC; Brunes LC (2017) Production and chemical composition of hybrid *Brachiaria* cv. Mulato II under a system of cuts and nitrogen fertilization. **Bioscience Journal** 33(3).

McDonald IR, Bodrossy L, Chen Y, Murrell JC (2008) Molecular ecology techniques for the study of aerobic methanotrophs. **Applied Environmental Microbiology** 74:1305-1315.

McRoberts KC, Parsons D, Ketterings QM, Hai TT, Quan NH, Ba NX, Nicholson CF, Cherney DJR (2017) Urea and composted cattle manure affect forage yield and nutritive value in sandy soils of south-central Vietnam. **Grass and forage Science** 73:1–14.

MCTI. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de Revista emissões de gases de efeito estufa no Brasil** (2017) 4ª edição. MCTI, Brasília.

Meirelles GC, Heinrichs R, Ibãñez T.B, Ribeiro IV, Lira MVS, Matos MAS (2017) Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenadas com eficiência aumentada em condições de pastagem. In: IV Simpósio de fertilização e manejo de

pastagens e iv de produção animal a pasto. **Anais...** Dracena, Unesp.

Moreira FS e Siqueira JS (2006) **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, p.729.

Morley N, Baggs EM, Dörsch P, Bakken L (2008) Production of NO, N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> by extracted soil bacteria, regulation by NO<sub>2</sub> - and O<sub>2</sub> concentrations. **FEMS Microbiology and Ecology** 65:102-112.

Nascimento CACD, Vitti,GC, Faria,LDA, Luz,PHC, Mendes,FL (2013) Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:1057-1063.

Nunes SG, Boock A, Pentead MIO (1985) ***Urochloa brizantha* cv. Marandu** (Campo Grande: EMBRAPA).

Pinheiro ÉFM (2018) Emissões de óxido nitroso sob cobertura vegetal de pastagem numa topossequência em Seropédica, RJ. **Revista Virtual de Química** 10(6).

Pires MV, da Cunha DA, Carlos SM, Costa MH (2015) Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: current trends and forecasts. **Plos One** 10:1-19.

Pulrolnik, K (2009) **Transformações do carbono no solo** (Embrapa Cerrados. Documentos 264). ISSN 1517-5111.

Raij BV (2017) **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2ª ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.

Reetz, H. F Jr (2016) **Fertilizers and their Efficient Use**. International Fertilizer Industry Association - IFA. 1ª ed, IFA, Paris, França, 2016. ISBN 979-10-92366-04-4.

Ribeiro VJ, Andrade FV, de Souza CHE, Sa Mendonca E (2016) Volatilization of ammonia in stabilized slow-release nitrogen fertilizer under controlled conditions. **Australian Journal of Crop Science** 10:793.

Rodrigues LF, dos Santos AC, Junior OS, dos Santos JGD, de Faria AFG, Coelho BPL (2019) Morphogenic and structural characteristics of Marandu grass cultivated under grazing management and nitrogen fertilization. **Semina: Ciências Agrárias** 40:2331-2340.

Saggar S, Jha N, Deslippe J, Bolan NS, Luo J, Giltrap DL, Kim DG, Zaman M, Tillman RW (2013) Denitrification and N<sub>2</sub>O: N<sub>2</sub> production in temperate grasslands: processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts. **Science and Total Environment** 465:173-195.

Sales ECJ, dos Reis ST, Monção FP, Antunes AB, Alves DD, de Aguiar ACR, Antunes AP da S, Mota VAC (2014) Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização de nitrogênio no capim-Marandu. **Agrarian** 7:434-446.



Santos ER, Carvalho BR, Rodrigues PM, Basso KC, de Carvalho NA (2018) Características estruturais do capim-marandu diferido com alturas e doses de nitrogênio variáveis. **Archivos de zootecnia** 67:420-426.

Silva DRG, Costa KADP, Faquin V, Oliveira ID, Souza MRFD, Souza MAS (2011) Eficiência nutricional e aproveitamento do nitrogênio pelo capim-marandu de pastagem em estágio moderado de degradação sob doses e fertilizantes de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia** 35:242-249.

Silveira ML, Vendramini JMB, Sellers B, Monteiro FA, Artur AG, Dupas E (2013) Bahiagrass response and N loss from selected N fertilizer fertilizers. **Grass and Forage Science** 70:154-160.

Sommer SG, Schjorring JK, Denmead OT (2004) Ammonia volatilization from mineral fertilizers and plants in fields amended with ammoniacal fertilizers. **Advances in Agronomy** 82:557-622.

Souza TLD, Guelfi DR, Silva AL, Andrade AB, Chagas WFT, Cancellier EL (2017) Ammonia and carbon dioxide emissions by stabilized conventional nitrogen fertilizers and controlled release in corn crop. **Ciência e Agrotecnologia** 41: 494-510.

Stafanato JB, Goulart RDS, Zonta E, Lima E, Mazur N, Pereira CG, Souza HND (2013) Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:726-732.

Su W, Lu J, Wang W, Li X, Ren T, Cong R (2014) Influence of rice straw mulching on seed yield and nitrogen use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in intensive rice–oilseed rape cropping system. **Field Crops Research** 159:53-61.

Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni LC, Cassol PC (2011) Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:493-502.

Telles EDCC, de Camargo PB, Martinelli LA, Trumbore SE, da Costa ES, Santos J., Higuchi N, Oliveira Jr RC (2003). Influência da textura do solo na dinâmica do carbono e no potencial de armazenamento em solos de floresta tropical da Amazônia. **Global Biogeochemical Cuts** 17(2) 1040.

Timilsena YP, Adhikari R, Casey P, Muster T, Gilla H, Adhikari B (2015) Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of Science Food Agriculture** 95:1131-1142.

Tiritan CS, Bull LT, Crusciol CAC, Carmeis Filho ACA, Fernandes DM, Nascente AS (2016) Tillage system and lime application in a tropical region: soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil & Tillage Research** 155:437-447.

Vasques IC, Souza AA, Morais EG, Benevenuto PA, da Silva LDC, Homem BG, Casagrande DR, Silva BM (2019) Improved management increases carrying capacity of Brazilian pastures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**

282:30-39.

Vieira RF (2017) **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Embrapa Meio Ambiente-Livro científico (ALICE).

Zanatta JA, Bayer C, Vieira FC, Gomes J, Tomazi M (2010) Nitrous oxide and methane fluxes in South Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34:1653-1665.

Zimmer AH, Macedo M.C.M, Kichel AN, de Almeida RG (2012) **Degradação, recuperação e renovação de patagens**. Embrapa Gado de Corte (INFOTECA-E Documentos 189). ISSN 1983-974X.

WMO - World Meteorological Organization (2019): **Greenhouse Gas Bulletin: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2018**, 5. ISSN 2078-0796.