

UFRRJ

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

TESE

**Influência do Manejo do Sistema Solo-Planta-
Animal nas Emissões de Gases de Efeito Estufa de
Pastagens do Pará**

Valfredo Almeida Chaves

2021



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

**INFLUÊNCIA DO MANEJO DO SISTEMA SOLO-PLANTA-ANIMAL
NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE PASTAGENS DO
PARÁ**

VALFREDO ALMEIDA CHAVES

Sob a Orientação do Professor
Bruno José Rodrigues Alves

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

Seropédica, RJ
Agosto de 2021

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

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

C512i Chaves, Valfredo Almeida, 1987-
Influência do Manejo do Sistema Solo-Planta-Animal
nas Emissões de Gases de Efeito Estufa de Pastagens
do Pará / Valfredo Almeida Chaves. - Imperatriz, 2021.
104 f.

Orientador: Bruno José Rodrigues Alves.
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia -
Ciência do Solo, 2021.

1. Pecuária. 2. Pastagem. 3. Mitigação. 4. Metano.
5. Óxido Nitroso. I. Alves, Bruno José Rodrigues,
1966-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia -
Ciência do Solo III. Título.

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

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

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

VALFREDO ALMEIDA CHAVES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, área de Concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

TESE APROVADA EM 31/08/2021.

Bruno José Rodrigues Alves. Dr. Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Adelson Paulo de Araújo. Dr. UFRRJ

Robert de Oliveira Macedo. Dr. UFRRJ

Cláudia de Paula Rezende. Dr. CEPLAC

Abmael da Silva Cardoso. Dr. UNESP - Jaboticabal

DEDICATÓRIA

*As famílias no Pará que moram nas rodovias Transamazônica e Transcametá.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por absolutamente tudo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do solo e aos seus professores.

Ao meu orientador Bruno J. R. Alves pelo apoio e generosidade.

A todos os companheiros que me ajudaram na execução desse trabalho, em especial ao Fabione Costa, Leandro Santos, Bruno Silva e Ronaldo (NAPT Paragominas).

Aos mais de 100 produtores que colaboraram para o levantamento de informações e/ou disponibilizaram suas propriedades para execução de experimentos. Em especial agradeço ao Helder Gonçalves, Lauber Agrizzi, Adriana Mageski e Val Bispo.

À Embrapa Agrobiologia, por disponibilizar toda estrutura, recursos e pessoal para a realização do trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) pela concessão do afastamento para pós-graduação.

À minha família pelo apoio em todos os momentos. Em especial agradeço ao meu irmão Danilon Chaves, meu pai Raimundo Chaves e minha esposa Dyene Gomes que me ajudaram na condução dos experimentos.

A CAPES, pelo apoio ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do solo (PPGA-CS) da UFRRJ.

BIOGRAFIA

Valfredo Almeida Chaves, nascido em Imperatriz, Maranhão, em 21 de abril de 1987. No ano de seu nascimento sua família passa a morar no município de Novo Repartimento, situado as margens da rodovia Transamazônica (BR 230), estado do Pará. Filho, neto e sobrinho de agricultores, seus pais posteriormente se tornaram professores da rede municipal. Egresso do ensino público, em 2004 se torna aluno do curso Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Castanhal - PA. Em abril de 2007 ingressa no curso de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Durante a graduação foi estagiário no Instituto de Zootecnia da UFRRJ auxiliando em pesquisas com gramíneas e leguminosas forrageiras (2007) e bolsista de iniciação científica no Laboratório de Fixação Biológica de Nitrogênio em Gramíneas da Embrapa Agrobiologia (2008-2012). Em 2012 ingressa como aluno de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo (PPGA-CS) da UFRRJ, produzindo a dissertação: *Desenvolvimento Inicial e Acúmulo de Nutrientes em Três Variedades de Cana-de-açúcar Inoculadas com Bactérias Diazotróficas*. Atua profissionalmente na Região Amazônica, onde foi Engenheiro Agrônomo da Cooperativa de Reflorestamento e Bioenergia da Amazônia – COOPERCAU (2014), Engenheiro Agrônomo da Secretaria de Agricultura de Novo Repartimento - PA (2015-2017) e professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA (2017 – Atual). Em fevereiro de 2018 retorna ao PPGA-CS como aluno de doutorado, desenvolvendo seu trabalho acadêmico no grupo de Ciclagem de Nutrientes da Embrapa Agrobiologia, culminado na defesa da tese: *Influência do manejo do sistema solo-planta-animal nas emissões de gases de efeito estufa de pastagens do Pará*.

RESUMO GERAL

CHAVES, Valfredo Almeida. **Influência do manejo do sistema solo-planta-animal nas emissões de gases de efeito estufa de pastagens do Pará.** 2021. 104f. Tese (Doutor em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A pecuária bovina é uma das principais atividades econômicas no Brasil e com crescente expansão na Região Amazônica, principalmente no estado do Pará. Apesar de se constituir uma alternativa importante de proteína animal para consumo interno e exportação, a pecuária bovina no Brasil é executada com baixa eficiência produtiva que geralmente leva a degradação das pastagens. Diversos trabalhos têm mostrado que a produção de bovinos representa uma fonte significativa de emissão de gases de efeito estufa (GEE) por meio da fermentação entérica, decomposição dos dejetos e insumos utilizados no sistema de produção. Esses gases somados a outras fontes podem alterar a composição da atmosfera e contribuir para mudanças climáticas. Esse tema vem sendo debatido amplamente na sociedade e a agropecuária de baixo carbono tem sido apontada como uma das principais alternativas para mitigação dessas emissões. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo: avaliar a partir de fazendas no estado do Pará a emissão de GEE da produção de bovinos de corte em sistemas de criação a pasto, utilizando um fator de emissão de N_2O quantificado em solo e clima local, e fatores de emissão de CH_4 entérico a partir de parâmetros da dieta e dos rebanhos de cada sistema. Para isso foi realizado um levantamento de índices zootécnicos e dados de manejo de pastagem de 101 fazendas no estado do Pará, reduzindo-se posteriormente a base de dados para 98 fazendas. Foram percorridos os municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Tucuruí, Pacajá e Paragominas. Também foram conduzidos dois experimentos de campo em diferentes épocas do ano para monitorar as emissões de N_2O provenientes de fezes e urina de bovinos. Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos ao acaso com cinco repetições: T1 - Controle sem excreta; T2 - Urina de animais sob pastejo extensivo (1,0 L por câmara); T3 - Fezes de animais sob pastejo extensivo (1,5 kg fezes frescas por câmara); T4 - Urina de animais sob ILP (1,0 L por câmara); T5 - Fezes de animais sob ILP (1,5 kg fezes frescas por câmara). Não houve diferença estatística entre os fatores de emissão de N_2O das excretas oriundas do pastejo extensivo e pastejo em ILP, porém diferenças significativas foram observadas entre as estações do ano e entre tipos de excreta. Os fatores anuais de emissão direta de N_2O foram de 0,811% para urina e 0,089% para fezes. No Pará a pecuária de corte foi caracterizada em três cenários: Cenário 1 - extensivo; Cenário 2 - etapas iniciais de intensificação; Cenário 3 - reformas de pastagem, integração lavoura pecuária (ILP), suplementação dos animais e melhoramento genético. Quando utilizados os fatores de emissão obtidos no Brasil (N_2O excretas e CH_4 entérico), as emissões totais nos cenários de produção em kg de CO_2e/kg de carcaça foram de 37 kg, 32 kg e 28 kg para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente. Quando utilizados os fatores de emissão (N_2O excretas e CH_4 entérico) da metodologia Tier 2 (IPCC, 2019), as emissões em kg de CO_2e/kg de carcaça foram de 62 kg, 54 kg e 43 kg para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente. A intensificação da produção de gado de corte entre os cenários promoveu o aumento das emissões de GEE por unidade de área, entretanto, reduziu as emissões por kg de carcaça e aumentou a eficiência do uso da área para produção de carne, que pode contribuir para preservação ambiental.

Palavras-chave: Pecuária. Mitigação. Pastagem.

GENERAL ABSTRACT

CHAVES, Valfredo Almeida. **Influence of soil-plant-animal system management on greenhouse gas emissions from pastures in Pará.** 2021. 104p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Cattle ranching is one of the main economic activities in Brazil and with increasing expansion in the Amazon region, mainly in the state of Pará. Despite being an important alternative for animal protein for domestic consumption and export, cattle ranching in Brazil is carried out at a low productive efficiency that generally leads to pasture degradation. Several studies have shown that the production of cattle represents a significant source of greenhouse gas (GHG) emissions through enteric fermentation, waste decomposition and inputs used in the production system. These gases added to other sources can alter the composition of the atmosphere and contribute to climate change. This topic has been widely debated in society and low-carbon agriculture has been identified as one of the main alternatives for mitigating these emissions. In this context, this work aimed to evaluate from farms in the state of Pará the GHG emission of beef cattle production in grazing systems, using a N₂O emission factor quantified in soil and local climate, and enteric CH₄ emission factors from diet and herd parameters of each system. For this, a survey of zootechnical indices and pasture management data from 101 farms in the state of Pará was carried out, subsequently reducing the database to 98 farms. The municipalities of Novo Repartimento, Breu Branco, Tucuruí, Pacajá and Paragominas were visited. Two field experiments were also carried out at different times of the year to monitor N₂O emissions from cattle feces and urine. The treatments were distributed in a randomized block experimental design with five replications: T1 - Control without excreta; T2 - Urine of animals under extensive grazing (1.0 L per chamber); T3 - Animal feces under extensive grazing (1.5 kg fresh feces per chamber); T4 - Urine of animals under ILP (1.0 L per chamber); T5 - Animal feces under ILP (1.5 kg fresh feces per chamber). There was no statistical difference between the N₂O emission factors of excreta from extensive grazing and ILP grazing, but significant differences were observed between seasons and between types of excreta. Annual direct N₂O emission factors were 0.811% for urine and 0.089% for feces. In Pará, beef cattle raising was characterized in three scenarios: Scenario 1 - extensive; Scenario 2 - initial steps of intensification; Scenario 3 - pasture reforms, livestock farming integration (ILP), animal supplementation and genetic improvement. When using the emission factors obtained in Brazil (wast-N₂O and enteric-CH₄), the total emissions in the production scenarios in kg of CO₂e/kg of carcass were 37 kg, 32 kg and 28 kg for scenarios 1, 2 and 3 respectively. When using the emission factors (wast-N₂O and enteric-CH₄) of the Tier 2 methodology (IPCC, 2019), the emissions in kg of CO₂e/kg of carcass were 62 kg, 54 kg and 43 kg for scenarios 1, 2 and 3 respectively. The intensification of beef cattle production between the scenarios promoted an increase in GHG emissions per unit area, however, it reduced emissions per kg of carcass and increased the efficiency of the use of the area for meat production, which can contribute to preservation environmental.

Keywords: Livestock. Mitigation. Pasture.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990: (A) Precipitação Acumulada Mensal e Anual. (mm); (B) Temperatura Média Compensada (°C). Fonte: INMET (2019).....3
- Figura 2.** Unidades de relevo do Estado do Pará. Fonte: FURTADO & PONTE (2013).....6
- Figura 3.** Solos das áreas alteradas nas regiões de integração do estado do Pará. Fonte: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL (2016).7
- Figura 4.** Degradação de solo em áreas de pastagem nos municípios de Rondon do Pará (a) e Novo Repartimento (b) no estado do Pará. Fotografia: Valfredo A. Chaves.8
- Figura 5.** Áreas planas com predominância de Latossolo Amarelo nos municípios de Breu Branco (a) e Paragominas (b) no Estado do Pará. Fotografia: Valfredo A. Chaves.....9
- Figura 6.** Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil, Amazônia e Pará entre 1995 e 2015 em bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (SEEG, 2016a). Fonte: MOURA et al. (2017)..... 11
- Figura 7.** Emissões de GEE por setor no Pará entre 1995 e 2015 em milhões de toneladas em dióxido de Carbono equivalente (SEEG, 2016a). Fonte: MOURA et al. (2017). 11
- Figura 8.** Mapa de ocorrências de desmatamento identificadas no PRODES 2020, nas 229 cenas que compõem a Amazônia Legal Brasileira. Fonte: INPE (2021a). 12
- Figura 9.** Taxa de desmatamento no Pará de 1988 a 2020. Fonte: INPE (2021b). 13
- Figura 10.** Taxa de acúmulo de lâmina foliar (TALF) de pastos de *B. brizantha* cultivares Marandu (M), Xaraés (X) e Piatã (P), no intervalo de maio de 2003 a abril 2004. Fonte: EUCLIDES et al. (2008)..... 18
- Figura 11.** Dinâmica da matéria orgânica na camada de 0 a 20 cm de profundidade em dois sistemas de rotação de culturas em um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. SOUSA et al. (1997) citado por VILELA et al. (2001)..... 20
- Figura 12.** Exemplares de controle de ganho de peso (A) e formulação de suplementos (B) nas fazendas visitadas no estado do Pará. 22
- Figura 13.** Entrevistas realizadas nos municípios de Novo Repartimento, Pacajá, Breu Branco, Tucuruí e Paragominas no estado do Pará. 23
- Figura 14.** Localização dos municípios Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá, Paragominas e Tucuruí no Estado do Pará. 24
- Figura 15.** Preparo da área experimental: rebaixamento do capim, delimitação das parcelas e inserção das bases metálicas no solo. 26
- Figura 16.** Câmara estática utilizada para medição dos fluxos de N₂O do solo e das excretas. 26
- Figura 17.** Perfil dos animais utilizados para as coletas de excretas: Fazenda Panorama (A); Fazenda Três Corações (B)..... 27
- Figura 18.** Metodologia utilizada inicialmente para coleta de excretas em bois nelore. Estímulo da bexiga através da ampola retal para induzir a micção, seguida da coleta das fezes. 27
- Figura 19.** Coleta de excretas: Enfileiramento dos animais na seringa para aguardar a micção espontânea (A); Posicionamento do coletor para armazenar urina (B); Coleta de fezes através da ampola retal dos animais (C). 28
- Figura 20.** Armazenamento das excretas em caixas de isopor com gelo para o transporte. ... 29

Figura 21. A) Fezes depositadas no centro das câmaras (1,5 kg/câmara); B) Urina depositada no centro das câmaras (1,0 L/câmara).	30
Figura 22. Experimento de campo para quantificar as emissões de GEE oriundas de fezes e urina de bois criados em sistema extensivo e em áreas de integração lavoura pecuária (ILP). A) Período chuvoso; B) Período seco.....	31
Figura 23. Distribuição das coletas de GEE nos experimentos conduzidos no período chuvoso e período seco. Em cada coleta (Col.) é indicado o número de dias transcorridos após a deposição das excretas nas parcelas (DAE).....	32
Figura 24. Câmara estática fechada equipada com termômetro tipo espeto (A); Extração dos gases contidos no interior das câmaras utilizando seringas de 60 ml nos intervalos de 0, 20, 40 e 60 minutos (B); Pluviômetro na área experimental para acompanhamento diário da precipitação pluvial (C).	33
Figura 25. Frascos armazenados com o septo para baixo com lâmina d'água acima do septo para evitar a difusão do gás.	33
Figura 26. Sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no município de Paragominas (PA). Fotografia: Valfredo A. Chaves.	35
Figura 27. Lotação Rotacionada no município de Novo Repartimento (PA). Fotografia: Valfredo A. Chaves.	36
Figura 28. Infestação de capim-capeta [<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br.] em pastagem extensiva no município de Breu Branco (PA). Fotografia: Valfredo A. Chaves.....	36
Figura 29. Degradação de solo em área de pastagem no município de Novo Repartimento (PA). Fotografia: Valfredo A. Chaves.....	37
Figura 30. Distribuição de espécies forrageiras na área total de pastagem de 98 fazendas no estado do Pará. Braquiarão (<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandú), MG5 (<i>Brachiaria brizantha</i> cv. MG5), Piatã (<i>Brachiaria brizantha</i> BRS Piatã), Ruzizienses (<i>Brachiaria Ruzizienses</i>), Decumbens (<i>Brachiaria decumbens</i>), Mombaça (<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça), Zuri (<i>Panicum maximum</i> cv. BRS Zuri), Massai (<i>Panicum maximum</i> cv. Massai), Aruanã (<i>Panicum maximum</i> cv. Aruanã), Quicuiu (<i>Brachiaria humidicola</i>), B. mutica (<i>Brachiaria mutica</i>).	38
Figura 31. Distribuição da área de Pastagem em ha (A) e rebanho bovino em n° de cabeças (B) entre os níveis tecnológicos extensivo, suplementação dos animais com mistura múltipla mineral (Suplem.), Adubação de pastagem (adubação), junção da adubação de pastagem com a suplementação dos animais com mistura múltipla mineral (adubação e suplem.) e integração lavoura pecuária (ILP).	40
Figura 32. Taxa de crescimento instantâneo (TCI, kg dia ⁻¹) obtida por meio dos modelos de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico para fêmeas da raça Nelore. Fonte: LOPES et al. (2016).....	54
Figura 33. Temperatura do ar (°C) e precipitação pluvial (mm) registradas na área experimental da fazenda Vista Alegre no município de Novo Repartimento (PA), no período de dezembro de 2018 a fevereiro de 2020.....	56
Figura 34. Emissões de N ₂ O da urina (A) e fezes (B) oriundos de animais em pastejo extensivo (PE) e pastejo rotacionado associado a integração lavoura-pecuária (ILP), durante o período das águas com transição para o período seco, e período seco com transição para o período das águas.....	57

Figura 35. Decomposição das fezes de bovinos durante as 29 coletas de N ₂ O realizadas entre 22/12/2018 e 07/05/2019 (período chuvoso).....	59
Figura 36. Turbidez das urinas provenientes de animais em pastejo extensivo (PE) e animais em pastejo rotativo associado a integração lavoura-pecuária (ILP). Amostras coletadas no mês de agosto de 2019 (período seco).....	60
Figura 37. Decomposição das fezes de bovinos durante as 29 coletas de N ₂ O realizadas entre 29/08/2019 e 12/02/2020 (período seco com transição para o período chuvoso).....	61
Figura 38. Fator de emissão de N ₂ O (%) para fezes (A, B, E e F) e urina (C, D, G e H) de bovinos mantidos em pastagens extensivas (A, B, C e D) e em sistemas integrados lavoura-pecuária (E, F, G e H), quantificados para excretas depositadas no período de chuvas (A, C, E e G) e no período de seca (B, D, F e H). P1, P2, P3 e P4 referem-se, respectivamente, a 27, 59, 86 e 136 dias após deposição das excretas no período de chuvas, e a 29, 58, 116 e 166 dias após deposição de excretas no período seco. Letras minúsculas diferentes indicam valores significativamente diferentes pelo teste l.s.d de Fisher (p<0.05).....	64
Figura 39. Distribuição percentual da emissão de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) a partir das operações e insumos agrícolas, emissões diretas e indiretas de N ₂ O das excretas e Fermentação Entérica (CH ₄).....	72
Figura 40. A) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) / hectare, utilizando fatores de emissões nacionais (BR). B) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) / hectare, utilizando fatores de emissão do IPCC (2019) Tier 2. C) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) / kg de carcaça produzida, utilizando fatores de emissão nacionais (BR). D) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) / kg de carcaça produzida, utilizando fatores de emissão do IPCC (2019) Tier 2.....	73
Figura 41. A) Produção anual de carcaça (kg) por unidade de área (ha) entre os cenários de produção. B) Eficiência de utilização da área de pastagem (m ² de pasto) para a produção de um quilo de carcaça entre os cenários de produção.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índices zootécnicos médios estimados da pecuária sob pastagem de baixa produtividade (pastagem em degradação) e da pecuária sob sistema melhorado (pastagem recuperada) sob média intensificação.....	14
Tabela 2. Índices zootécnicos médios do rebanho brasileiro e em sistemas tecnológicos mais evoluídos.....	15
Tabela 3. Grau de exigência de alguns tipos de capins à fertilidade do solo.	16
Tabela 4. Período de descanso recomendado para algumas espécies de plantas forrageiras adubadas.	16
Tabela 5. Alturas médias (cm) do capim indicadas para entrada (pré-pastejo) e saída (pós-pastejo, sob duas condições de fertilidade do solo) dos animais em sistema de pastejo sob lotação rotativa.....	17
Tabela 6. Níveis de oferta de suplemento e ganho de peso de diferentes categorias de bovinos de corte em distintas épocas do ano.....	19
Tabela 7. Análise química e física de amostras de terra coletadas na fazenda Vista Alegre. .	25
Tabela 8. Análise química de amostras de solo coletadas nas fazendas Três Corações e Panorama.	29
Tabela 9. Teor de nitrogênio (N) da urina coletada nas fazendas Panorama e Três Corações durante o período chuvoso e período seco.....	30
Tabela 10. Matéria seca (MS) e teor de nitrogênio (N) das fezes nas fazendas Panorama e Três Corações durante o período chuvoso e período seco.....	31
Tabela 11. Área de pastagem, níveis tecnológicos, rebanho e lotação em pequenas, médias e grandes propriedades distribuídas nos municípios de Novo Repartimento, Pacajá, Tucuruí, Breu Branco e Paragominas.....	37
Tabela 12. Média e erro padrão da média de índices de recria e engorda de fêmeas Nelore obtidos em seis fazendas que atuam com integração lavoura pecuária em Paragominas (PA).....	41
Tabela 13. Produtividade e aplicação de insumos por hectare nos cultivos de soja e milho em integração com forragem obtidos em nove fazendas que atuam com integração lavoura pecuária (ILP) e trabalhos técnicos no município de Paragominas (PA).	42
Tabela 14. Operações agrícolas que compõe o sistema soja-milho-forragem no município de Paragominas (PA). Informações obtidas em 10 fazendas do município.	42
Tabela 15. Peso de entrada e saída de cada categoria animal nos cenários 1, 2 e 3.	46
Tabela 16. Correlação entre consumo de forragem e suplementação com mistura múltipla mineral nos cenários de produção.....	47
Tabela 17. Estimativa dos teores médios anuais de digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), nutrientes digestíveis totais (NDT) e proteína bruta (PB) de cultivares de <i>Brachiaria brizantha</i> para os cenários tecnológicos.....	48
Tabela 18. Ingestão diária por animal de mistura múltipla mineral (MMM) e massa seca de forragem (MSF) no cenário 1 a partir dos níveis de consumo de suplemento e forragem apresentados na Tabela 16.	48

Tabela 19. Ingestão diária por animal de mistura múltipla mineral (MMM) e massa seca de forragem (MSF) no cenário 2 a partir dos níveis de consumo de suplemento e forragem apresentados na Tabela 16.	48
Tabela 20. Ingestão diária por animal de mistura múltipla mineral (MMM) e massa seca de forragem (MSF) no cenário 3 a partir dos níveis de consumo de suplemento e forragem apresentados na Tabela 16.	49
Tabela 22. Estimativa da excreção diária de nitrogênio Fecal e Urinário por animal nos cenários 1, 2 e 3 utilizando os dados da Tabela 21 e as equações elaboradas por WALDRIP et al. (2013).	50
Tabela 23. Estimativa da excreção diária de nitrogênio Fecal e Urinário por animal nos cenários 1, 2 e 3 utilizando os dados da Tabela 21 e as equações elaboradas por DONG et al. (2014).	51
Tabela 24. Estimativa da excreção diária de nitrogênio Fecal e Urinário por animal nos cenários 1, 2 e 3 utilizando os dados da Tabela 21 e as equações elaboradas por PRADOS et al. (2016).	52
Tabela 25. Balanço de nitrogênio para bovinos de corte nos cenários de produção 1, 2 e 3 na região amazônica, considerando as estimativas de ingestão de nitrogênio na Tabela 21 e excreção de nitrogênio na Tabela 24.	53
Tabela 26. Ingestão, excreção e balanço de nitrogênio obtidos em diferentes estudos com bovinos de corte e mestiços no Brasil.	55
Tabela 27. Fatores de emissão e os respectivos erros-padrão de cada excreta (urina e fezes) obtida de animais de cada pasto (PE e ILP) e depositada no solo em cada época do ano (chuva e seca).	62
Tabela 28. Emissões de N ₂ O acumuladas de excretas bovinas no período de 136 dias após deposição na época das chuvas e 166 dias após deposição na época seca, e os respectivos fatores de emissão.	62
Tabela 29. Composição do rebanho, n° de animais por categoria e permanência (P.) dos animais na categoria para os diferentes cenários.	66
Tabela 30. Emissões diretas de N ₂ O (fezes + urina) expressas em kg de N ₂ O/categoria animal/ano nos diferentes cenários utilizando os fatores de emissão nacionais (BR) obtidos em experimento de campo no município de Novo Repartimento (PA) e fatores de emissão da metodologia Tier 2 do IPCC (2006, 2019).	67
Tabela 31. Emissões de CH ₄ entérico nos diferentes cenários expressas por indivíduo (g/animal/dia), utilizando fator de emissão desenvolvido para raça Nelore no Brasil.	68
Tabela 32. Emissões de CH ₄ entérico expressas em kg de CH ₄ /animal/ano nos diferentes cenários, utilizando fator de emissão para raça Nelore no Brasil (BR) e fator de emissão da metodologia Tier 2 do IPCC (2006, 2019).	68
Tabela 33. Emissões em equivalentes de dióxido de carbono (CO ₂ e) a partir de insumos e operações agrícolas realizadas nas fazendas, emissão de N ₂ O das excretas e emissão de CH ₄ das fezes e fermentação entérica. As emissões de N ₂ O das excretas e fermentação entérica consideram a utilização de fatores de emissão obtidos no Brasil. Os valores a seguir são expressos em kg de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e)/rebanho/ano.	70
Tabela 34. Potencial de mitigação das emissões entre os cenários de produção considerando a emissão de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) / kg de carcaça produzida, e a utilização de fatores de emissões nacionais (BR) e fatores de emissões do IPCC (2019) Tier 2.	75

Tabela 35. Índices zootécnicos de recria e engorda de machos nascidos do cruzamento de Nelore com Matrizes Leiteiras obtidos em 5 fazendas nos municípios de Novo Repartimento, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.	101
Tabela 36. Índices reprodutivos de fêmeas Nelore obtidos em 53 fazendas agrupadas de acordo com o manejo reprodutivo nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.	101
Tabela 37. Índices zootécnicos de recria e engorda de machos de raça Nelore obtidos em 41 fazendas cujos sistemas de produção foram agrupados em: Sem adubação e suplementação; Com adubação; Com suplementação; Com adubação e suplementação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.	102
Tabela 38. Índices zootécnicos de recria e engorda de machos de raça Nelore obtidos em 41 fazendas cujos sistemas de produção foram agrupados em: sem suplementação e com suplementação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.....	102
Tabela 39. Lotação, características da pastagem, mortalidade pós-desmama e comercialização dos animais a partir de informações obtidas em 89 fazendas, cujos sistemas de produção foram agrupados em: Sem adubação e suplementação; Com adubação; Com suplementação; Com adubação e suplementação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará..	103
Tabela 40. Lotação, características da pastagem e utilização de corretivos e fertilizantes a partir de informações obtidas em 89 fazendas cujos sistemas de produção foram agrupados em: sem adubação e com adubação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.	103
Tabela 41. Lotação, mortalidade pós-desmama e comercialização de fêmeas Nelore a partir de informações obtidas em sete fazendas que atuam com integração lavoura pecuária (ILP) no município de Paragominas (PA).....	104
Tabela 42. Emissões diretas de N ₂ O de fezes e urina (kg categoria ⁻¹ ano ⁻¹) nos diferentes cenários.	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Cenários tecnológicos de produção predominantes no Sudeste do Pará.....	45
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Características Edafoclimáticas e Fragilidade Ambiental das Principais Áreas de Produção de Bovinos no Estado do Pará	3
2.2 Ocupação do Território e Emissões de GEE da Agropecuária na Região Amazônica....	9
2.3 Pecuária Sustentável como Ferramenta de Mitigação das Emissões de GEE na Região Amazônica	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Composição dos Cenários de Produção Utilizando Levantamento de Informações em Fazendas do Estado do Pará.....	22
3.2 Geração de Fatores de Emissão de N ₂ O da Urina e Fezes de Bovinos Coletados em Fazendas do Pará	25
3.2.1. Experimento com fezes e urina de bovinos para quantificar a emissão de N ₂ O...25	
3.3 Cálculo das Emissões de CH ₄ Entérico	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Composição dos Cenários de Produção Utilizando Levantamento de Informações em Fazendas do Estado do Pará.....	35
4.2 Delimitação das Categorias Animais e Estimativa do Consumo de Forragem, Suplemento e Água	46
4.3 Ingestão e Excreção de Nitrogênio	49
4.4 Emissões de N ₂ O de Urina e Fezes de Bovinos Oriundos de Sistema com Pastejo Contínuo e Rotacionado associado a ILP	56
4.5 Estimativa das Emissões de GEE para os Cenários de Produção de Gado de Corte.....	65
5 CONCLUSÕES.....	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
7 ANEXOS	97

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo estimado em 214,7 milhões de cabeças (IBGE, 2020a). O país destaca-se como o quinto maior produtor de leite e segundo maior exportador de carne bovina considerada uma das principais commodities do agronegócio brasileiro (IBGE, 2020a) com a exportação de 1,7 milhão de toneladas de carne em 2020 (ABIEC, 2021), uma alta de 12% em relação ao ano anterior (CEPEA, 2021).

A pecuária de corte, apesar de ser atividade difundida em todos os Estados brasileiros, apresenta níveis médios de produtividade e muito abaixo do potencial (EUCLIDES FILHO et al., 2002). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) para satisfazer a população de 9 bilhões de habitantes em 2050, a produção de alimentos deve aumentar em pelo menos 60%, projetando-se aumento na procura por carne de 270 milhões de toneladas para 470 milhões (FAO, 2014). Diante deste cenário, o Brasil apresenta condições promissoras de atender parte dessa demanda, já que é possível dobrar o rebanho nacional adotando-se apenas as primeiras etapas do processo de recuperação de pastagens (OLIVEIRA, 2005). O país reconhece a questão em torno das mudanças climáticas como preocupante e, portanto, requer um esforço global urgente. Porém, o combate ao aquecimento global deve ser compatível com o crescimento econômico sustentável, com a produção de alimentos e com as ações para erradicação da pobreza (BALBINO et al., 2011).

Diferente de outros países cujo confinamento é a base de produção de carne (EUA, Austrália e diversos países europeus) no Brasil a colheita do alimento é feita pelo animal no pasto, diminuindo o custo de produção pelo menor uso de mão de obra, máquinas, equipamentos e combustível fóssil, tornando a carne bovina brasileira uma das mais competitivas do planeta (DIAS-FILHO, 2012, 2014, 2017). Na literatura são apresentadas diferentes estimativas da área ocupada por pastagens no Brasil, variando de 150 a 200 milhões de ha (BUSTAMANTE et al., 2012; MARTINELLI et al., 2010; DIAS-FILHO, 2014; IBGE 2006).

De acordo com OLIVEIRA (2005), durante décadas a pecuária nacional valeu-se da fertilidade natural de solos recém desmatados para implantar forrageiras de alto potencial produtivo, porém, a diminuição da fertilidade desses solos e o super pastejo levou à degradação das pastagens. Não existem estatísticas oficiais que quantifiquem o montante das áreas de pastagens degradadas no Brasil, pois a dificuldade começa em definir o que seria uma pastagem degradada (DIAS-FILHO, 2014), porém, informações compiladas em DIAS-FILHO (2011) indicam que entre 50% e 70% das áreas de pastagens do Brasil apresentariam algum grau de degradação.

Embora o Brasil tenha potencial para aumentar a produção de bovinos é preciso levar em conta os efeitos da pecuária na emissão de gases de efeito estufa (GEE) como CH₄, N₂O e CO₂, que podem ter como fontes os dejetos produzidos por bovinos, fermentação entérica, carbono armazenado no solo e biomassa vegetal (CARDOSO et al., 2016a; LESSA et al., 2014; SORDI et al., 2014; BUSTAMANTE et al., 2012; ASSAD et al., 2013).

O nitrogênio é considerado um dos elementos chave para manutenção da produtividade das pastagens (BODDEY et al., 2004). Contudo, o fornecimento desse nutriente por meio de fertilizantes químicos também ocasiona emissões de CO₂ e N₂O (JENSSEN et al., 2012), exemplificando que mesmo as estratégias voltadas para o aumento de produtividade em pastagens devem ser bem avaliadas quanto ao seu potencial de emissão de gases de efeito estufa (GEE). Sobre esse aspecto, percebe-se ainda a carência de dados medidos em campo que permitam uma estimativa mais precisa do impacto dos sistemas de produção, especialmente no que se refere às emissões de N₂O de excretas e de CH₄ entérico, dos dados de atividade e

parâmetros de modelos utilizados nas estimativas. No Brasil 56 % das emissões de CO₂e da agropecuária são atribuídas a fermentação entérica que libera CH₄, sendo o rebanho bovino responsável por 87% dessas emissões (MCTI, 2014).

Diversos trabalhos mostram que a adoção de sistemas intensificados de produção de bovinos pode reduzir a emissão de GEE por unidade de produto, pelo aumento de produtividade (BOGAERTS et al., 2017; FIGUEIREDO et al., 2017; CARDOSO et al., 2016a; MAZZETTO et al., 2015). O investimento em sistemas intensificados de produção de carne pode diminuir a pressão sobre a vegetação nativa contribuindo também para aumentos de produtividade e dos níveis de carbono no solo em pastagens bem manejadas (ASSAD et al., 2013; CARDOSO et al., 2016a). Essa discussão torna-se ainda mais relevante a medida em que se percebe o avanço da pecuária brasileira rumo a Amazônia. A região centro-oeste atualmente abriga o maior rebanho bovino do país (35,7%), porém nos últimos anos, é possível observar um deslocamento da produção de bovinos para o Norte do País, o que se deve, em parte, aos baixos preços das terras, disponibilidade hídrica, clima favorável e abertura de grandes plantas frigoríficas (IBGE, 2016, 2020a). O monitoramento deste fenômeno no período de 1995 a 2004 apontou um aumento de 107,41% do rebanho bovino na região norte contra um aumento de 29,25% na região centro-oeste (DIAS-FILHO e ANDRADE, 2006). Sendo assim, o padrão temporal de crescimento do rebanho bovino no Norte do país sugere que, no futuro, a região amazônica deverá ter papel predominante na produção de bovinos. A região Norte já abriga o segundo maior rebanho bovino do país (49,6 milhões e cabeças), com destaque para o Estado do Pará responsável por 20,8 milhões de cabeças. O Pará foi o Estado brasileiro que apresentou o maior crescimento da bovinocultura nos últimos 10 anos, ocupando atualmente a 4^o posição entre os Estados com maior efetivo bovino (IBGE, 2020a; SEDAP, 2020; ABIEC, 2020). No Pará, a pecuária é uma das atividades de maior relevância na matriz econômica, com participação de 26% do PIB do setor primário, onde 42% da produção bovina concentrando-se nas regiões Sul e Sudeste do Estado (FAPESPA, 2017). Diversos municípios paraenses fazem parte do grupo com maior rebanho efetivo do país, com destaque para São Félix do Xingú, 1^o lugar no ranking nacional com 2.241.537 cabeças, seguido de outros municípios do Estado que também apresentam grande relevância para a pecuária brasileira: Marabá (1.136.100 cabeças), Novo Repartimento (884.331 cabeças), Altamira (759.451 cabeças), Cumarú do Norte (750.015 cabeças), Pacajá (559.776 cabeças) dentre outros (IBGE, 2020a; SEDAP, 2020; ABIEC, 2020).

Por tanto, estudos quanto a caracterização da produção de bovinos nesta região, com enfoque na emissão de gases de efeito estufa e estratégias de mitigação são de grande relevância. Nesse sentido, as condições de clima mais úmido e quente favorecem transformações microbiológicas no solo e incrementar as emissões de gases como o N₂O (BUTTERBACH-BAHAL et al., 2013). Uma primeira hipótese que se levanta é a de que os fatores de emissão usados nas metodologias para caracterizar sistemas de produção podem ser mais altos do que os disponibilizados na guia do IPCC (2019), referência para a maioria dos estudos, especialmente o N₂O. Isso pode resultar em mudanças nos balanços dos gases de efeito-estufa para estimativa da pegada de carbono da carne, abrindo espaço para uma segunda hipótese de que a intensificação não seja a melhor estratégia para mitigar as emissões desses gases nessa região.

Com foco nas duas hipóteses acima, o trabalho tem como objetivo avaliar, em fazendas no Estado do Pará, a emissão de GEE da produção de bovinos em sistemas de criação a pasto, utilizando fator de emissão de N₂O quantificado em solo e clima local, e fatores de emissão de CH₄ entérico a partir de parâmetros da dieta e dos rebanhos de cada sistema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características Edafoclimáticas e Fragilidade Ambiental das Principais Áreas de Produção de Bovinos no Estado do Pará

O Pará é o segundo maior Estado do Brasil com uma área de 1.245.870,707 km² (IBGE, 2020b). O Estado situa-se precisamente dentro da faixa ecológica denominada de “Trópico Úmido”, onde as atividades biológicas são mais intensas e, também, onde a produtividade primária dos ecossistemas alcança seus valores mais elevados (CRAVO et al., 2007). De acordo com a classificação de Köppen, a Região Amazônica está situada no grupo de clima tropical chuvoso A, onde as temperaturas médias dos meses não são inferiores a 18 °C, com oscilações inferiores a 5 °C, exceto a cidade de Cárceres, MT, que apresenta amplitude anual um pouco acima desse limite (NOGUEIRA et al., 2005).

Segundo BASTOS (1972), a variedade climática *i* se caracteriza por não ter verão ou inverno estacional. Os tipos climáticos, Afi, Ami e Aw1 se diferenciam a partir do total pluviométrico do mês com menor precipitação em relação ao total anual. O tipo Afi apresenta abundância de chuvas durante todo o ano (acima de 2.500 mm anuais) e, no mês de menor precipitação, as chuvas alcançam mais de 60 mm. O Ami, intermediário entre Afi e Aw1, possui regime pluviométrico anual que define uma estação relativamente seca, mas com precipitação total acima de 2.500 mm anuais. O tipo climático Aw1 se caracteriza por ter índice pluviométrico anual entre 1.000 e 2.500 mm, com nítida estação seca (BASTOS, 1972; NOGUEIRA et al., 2005; BASTOS & PACHECO, 2005). Sendo assim, embora haja variação climática dentro do Estado, em geral há predomínio de altas temperaturas ao longo de todo o ano e um elevado índice pluviométrico característicos da região Norte, normalmente superior a demais regiões do país (Figura 1).

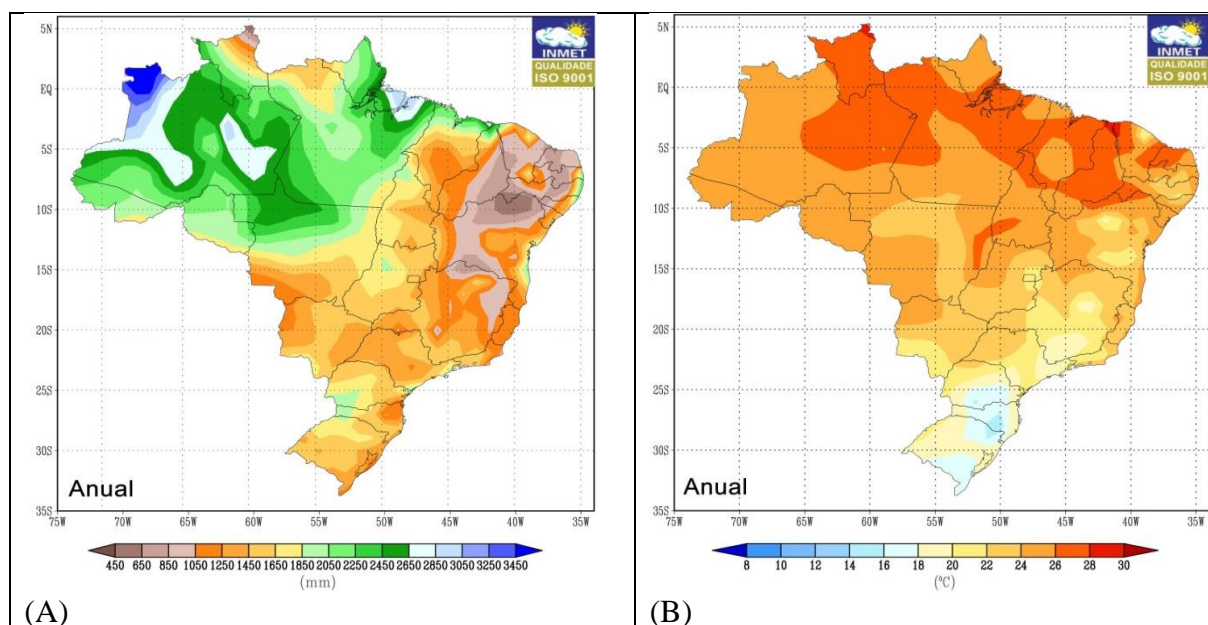


Figura 1. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990: (A) Precipitação Acumulada Mensal e Anual. (mm); (B) Temperatura Média Compensada (°C). Fonte: INMET (2019).

Além da variação climática, o Pará também conta com uma grande diversidade de solos, observando-se com maior frequência as classes Latossolo, Argissolo, Plintossolo, Cambissolo, Nitosolo, Neossolo, Gleissolo, Espodossolo, Neossolos Litólicos, Gleissolos thiomórficos e Latossolos e Argissolos concrecionários (CRAVO et al., 2007). FALESI et al. (1980)

consideram que a maior parte dos solos da Região Amazônica, são deficientes em nutrientes em consequência da sua própria gênese, pois derivam de sedimentos caulíníficos da série Barreiras. Dessa forma, o clima e a reciclagem de nutrientes que existe no binômio solo-planta são os responsáveis pela manutenção da floresta. O material decomposto a partir de restos vegetais e de animais se mistura à superfície mineral do solo de onde são retirados os elementos nutritivos indispensáveis à manutenção da vegetação.

De acordo com CRAVO et al (2007), as principais limitações dos solos do Pará referem-se à acidez elevada, saturação alta de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes, onde 90% têm deficiência em fósforo, 73% apresentam toxidez de alumínio e 50% baixa reserva de potássio. As limitações de natureza física são pouco representativas, apenas 10% do Pará apresentam declividade superior a 20%. Entretanto em 53% da região ocorrem déficit hídricos elevados.

Na porção Sudeste do Estado do Pará, RANZANI (1978) realizou a descrição de solos que ocorrem ao longo da rodovia Transamazônica (BR 230) no município de Itupiranga (PA). Este autor constatou que o balanço hídrico dos solos da região sugere uma perda apreciável da água da chuva por escoamento superficial. Estes solos apresentaram permeabilidade moderada, indicando a necessidade de práticas conservacionistas capazes de controlar a erosão, para que o uso agrícola dessas terras possa apresentar garantias de permanência.

FALESI (1972) ao realizar o levantamento dos solos presentes na rodovia Transamazônica (BR 230) no sentido Marabá-Altamira (PA), observou a ocorrência de solos de baixa, média e alta fertilidade. Nesta região a paisagem local mostra-se bastante movimentada, com topografia ondulada, constituindo séria limitação a utilização dos solos, principalmente empregando-se máquinas e implementos agrícolas. Grande parte dos solos localizados neste trecho apresentaram concreções e cascalhos nos primeiros horizontes do perfil, o que também se constitui em fator limitante.

As características topográficas dessa região são de grande importância para a determinação do uso da terra, pois os aspectos topográficos do terreno podem ser bons indicadores da variação dos atributos do solo, devido a influência da declividade sobre o transporte e armazenamento de água dentro do perfil do solo (MULLA e MCBRATNEY, 1999; PARK et al., 2001; CAMPOS, 2012). Diversos autores consideram que a gênese dos solos está diretamente ligada aos componentes da paisagem tais como altitude, declividade e curvatura do terreno que influenciam nos processos pedogenéticos não somente pela relação formação e erosão do solo, mas também porque incorporam os processos dinâmicos do fluxo de água e transporte de materiais orgânicos e minerais (CARRÉ & MCBRATNEY, 2005; THOMPSON et al., 2006; SEIBEERT et al., 2007; MINASNY e MCBRATNEY, 1999, 2001; CAMPOS, 2012).

REIS (2007, 2009) ao analisar uma topossequência de 310 m de comprimento e 45 m de desnível na microrregião de Marabá, observou que declividade e a forma da vertente provocaram variações na constituição granulométrica e orgânica do solo ao longo dos perfis e ao longo da topossequência, que contribuíram para a caracterização de um sistema pedológico composto de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo da alta para baixa vertente. Os processos mais importantes que ocorreram na topossequência foram a perda de material mineral (principalmente argila) e orgânico ao longo da vertente, especialmente no Cambissolo localizado na encosta, com acúmulo de material orgânico no Gleissolo.

Para VIDAL-TORRADO et al. (1999) uma das transições entre classes de solos mais frequentes na paisagem tropical é a transição lateral de Latossolos para Podzólicos (Argissolos) de montante para jusante nas vertentes. TERAMOTO et al. (2001) ao analisarem uma topossequência caracterizada pela presença das classes Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico e Cambissolo Háptico, constataram que as variações dos atributos químicos e físicos entre as superfícies ocorreram, em primeira instância,

em função das litologias da área. Já as diferenças morfológicas dos solos encontrados foram atribuídas principalmente ao fator relevo dentro de cada superfície.

A distribuição das principais unidades de relevo e classes de solo presentes no estado do Pará são apresentadas nas figuras a seguir. A Figura 2 sintetiza informações sobre as unidades de relevo no Estado do Pará a partir da análise sumária do mapeamento geomorfológico do estado (FURTADO & PONTE, 2013). A Figura 3 apresenta a distribuição das classes de solos das áreas alteradas das regiões de integração do estado do Pará (EMBRAPA, 2016). Essas regiões de integração fazem parte da configuração espacial adotada pelo governo do Pará, na qual divide o estado em 12 regiões de integração (Araguaia, Baixo Amazonas, Carajás, Guajará, Guamá, Lago de Tucuruí, Marajó, Rio Caeté, Rio Capim, Tapajós, Tocantins e Xingu), conforme disposto no decreto estadual 1.066 de 19 de junho de 2008, posteriormente atualizado no decreto 1.346 de 24 de agosto de 2015 (EMBRAPA, 2016).

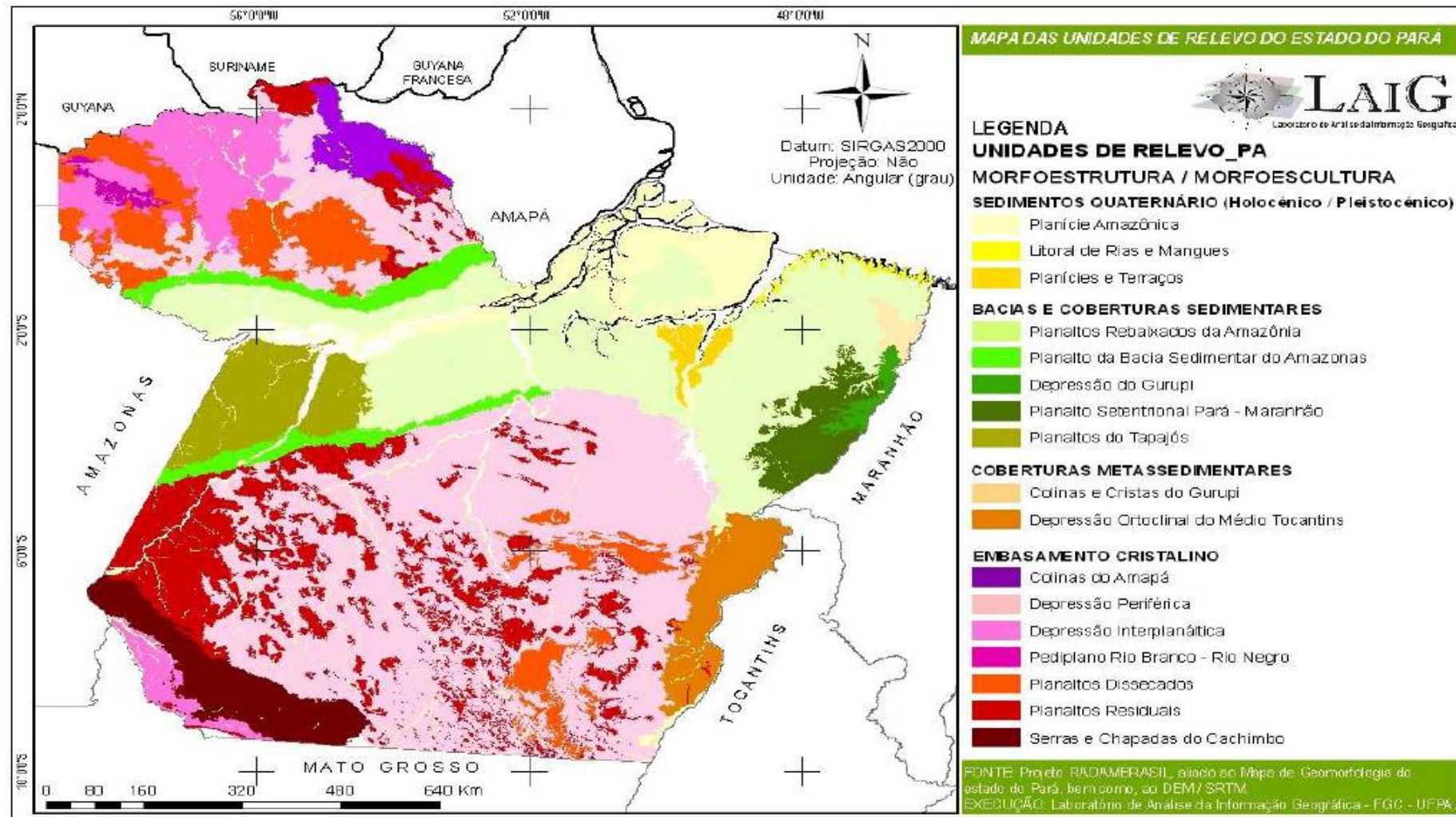


Figura 2. Unidades de relevo do Estado do Pará. Fonte: FURTADO & PONTE (2013).

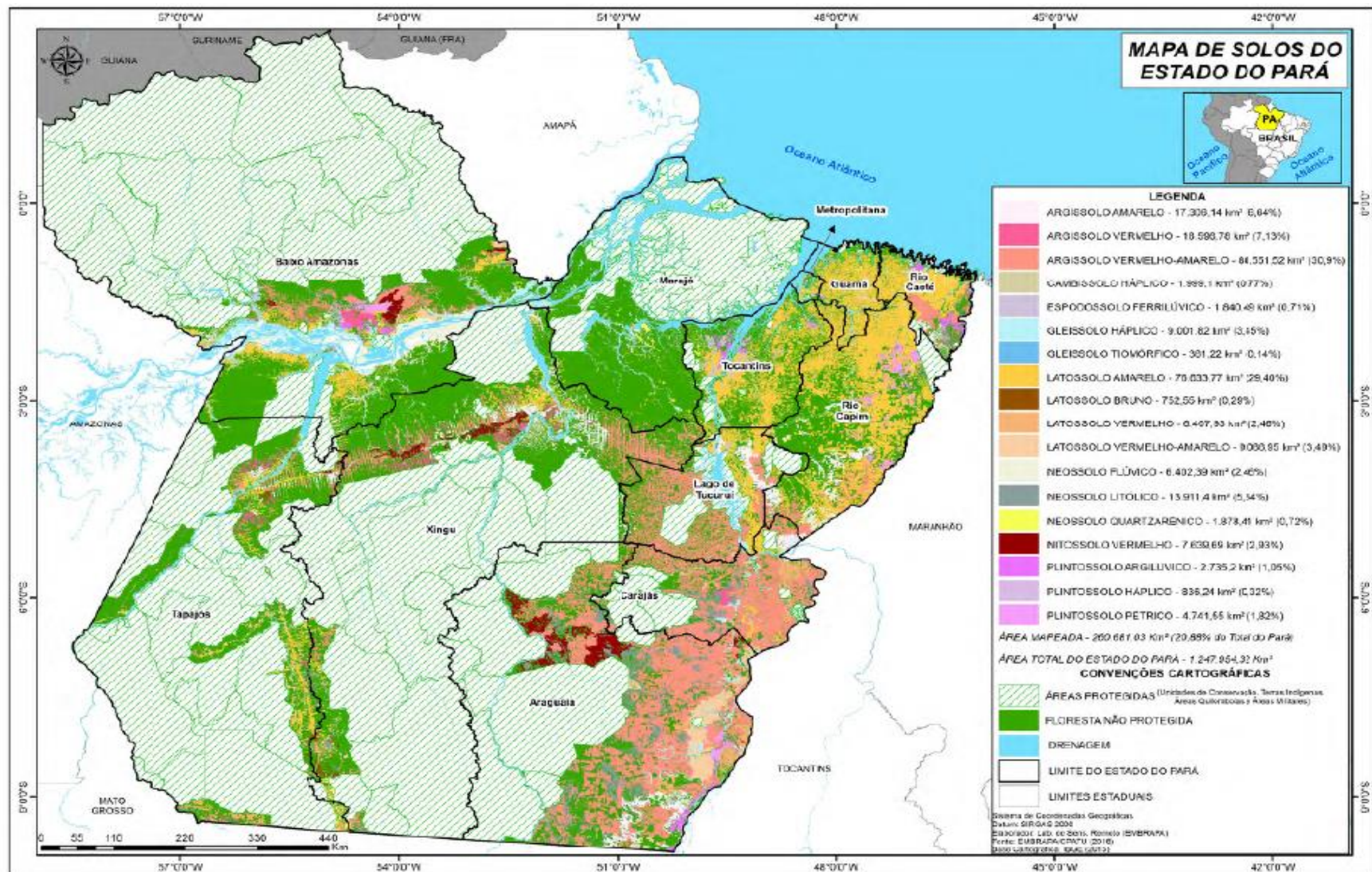


Figura 3. Solos das áreas alteradas nas regiões de integração do estado do Pará. Fonte: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL (2016).

Conforme observado na Figura 2, na região Sudeste do Pará onde estão situados os municípios com maior rebanho bovino, predominam as seguintes unidades de relevo: Depressão Periférica (altimetria 150-550 m; declividade 0-10%), Planaltos Residuais (altimetria 400-700 m; declividade 5-15%), Planaltos Dissecados (altimetria 400-850 m; declividade 5-25%) e Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins (altimetria 200-350 m; declividade 0-20%) (FURTADO & PONTE, 2013). Portanto, trata-se de uma região onde a paisagem comumente apresenta declividade acentuada, o que se traduz em limitação a exploração agrícola dessas terras, favorecendo a pecuária em detrimento da agricultura, algo que explica ao menos em parte a presença dos dez municípios com maior rebanho efetivo do Pará na porção Sul do estado, sendo nove deles na região Sudeste (FAPESPA, 2017).

A ocorrência de solos com B textural é predominante no Sudeste do Pará, com destaque para a classe dos Argissolos conforme pode ser observado na Figura 3. De acordo com EMBRAPA (2016) a ocorrência de Argissolos em relação as demais classes de solo nas regiões de integração do Sudeste do Pará é a seguinte: Lago de Tucuruí (73,04%), Carajás (75,2%), Araguaia (62,52%) e Xingú (65,3%). De acordo FREIRE et al. (2013) e GAMA et al. (2020), o potencial de uso dos Argissolos em atividades agrícolas é um pouco restrito, pois a susceptibilidade à erosão é maior devido a diferença textural em profundidade em relação a outras classes de solo.

Além dos Argissolos, a Figuras 3 também demonstra que há nessas regiões a presença de Neossolos litólicos (Lago de Tucuruí: 0,65%; Carajás: 8,84%; Araguaia:14,6%; Xingú: 2,6%) (EMBRAPA, 2016). De acordo com FREIRE et al. (2013) e GAMA et al. (2020) esta classe de solo também é limitante para a agricultura e são suscetíveis a erosão por causa da pouca profundidade, das condições de relevo e da pedregosidade. Dessa forma, a predominância de solos suscetíveis a erosão e associados a declividade que favorece o escoamento superficial da água e influencia o transporte e armazenamento de água dentro do perfil do solo (MULLA & MCBRATNEY, 1999; PARK et al., 2001; CAMPOS, 2012), restringem as práticas agrícolas que podem ser adotadas nessas áreas, tornando necessárias a adoção de medidas conservacionistas na agricultura e pecuária praticadas na região.

A Figura 4 apresenta exemplos do potencial erosivo em áreas de pastagem em dois municípios do Sudeste paraense.

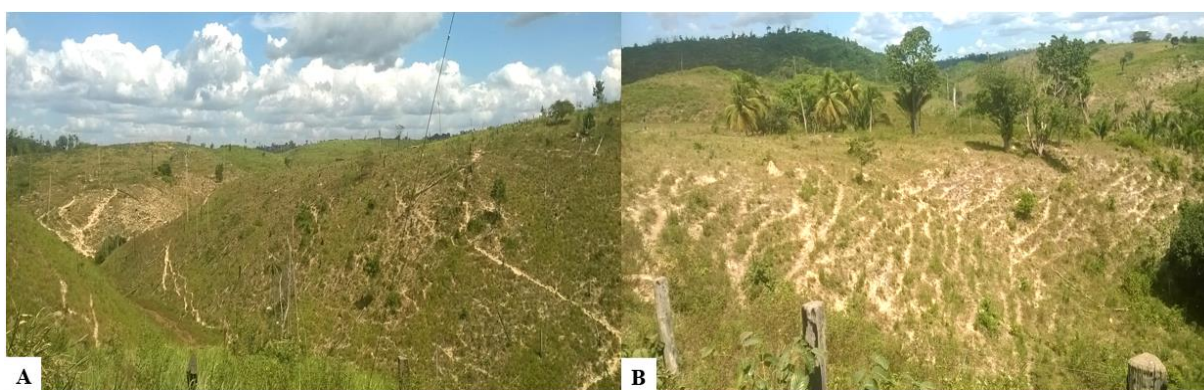


Figura 4. Degradação de solo em áreas de pastagem nos municípios de Rondon do Pará (a) e Novo. Repartimento (b) no estado do Pará. Fotografia: Valfredo A. Chaves.

No Pará a pecuária encontra-se difundida em todo o estado (FAPESPA, 2017), sendo realizada também em regiões onde há aptidão para agricultura e integração lavoura pecuária (EMBRAPA, 2016; FAPESPA, 2017), como por exemplo o município de Paragominas (região de integração Rio Capim) e o município de Breu Branco (região de integração Lago de Tucuruí). Nessas regiões de integração podem ser observadas condições diferentes de relevo e

solo conforme observado nas Figuras 2 e 3 respectivamente. De acordo com FURTADO & PONTE (2013), nessas áreas predominam as unidades de relevo Planaltos Rebaixados da Amazônia (altimetria 50-200 m), Depressão do Gurupi (altimetria 50-200 m; declividade 0-5%) e Planalto Setentrional Pará-Maranhão (altimetria 100-350 m; declividade 2-5%), caracterizando uma topografia mais favorável a atividade agrícola.

Em relação aos solos desses municípios, há predominância da ocorrência de Latossolos Amarelos (EMBRAPA, 2016). A Figura 5 apresenta exemplos de Latossolos associados a baixa declividade nos municípios de Breu Branco e Paragominas (PA).



Figura 5. Áreas planas com predominância de Latossolo Amarelo nos municípios de Breu Branco (a) e Paragominas (b) no Estado do Pará. Fotografia: Valfredo A. Chaves.

Considerando-se apenas o município de Paragominas, os Latossolos Amarelos podem alcançar uma abrangência de até 81,38% da área (RODRIGUES et al., 2003). De acordo com GAMA et al. (2020) correspondendo a 40.75% da área total do estado, os Latossolos tendem a apresentar boas condições físicas, baixa fertilidade química (distróficos) e elevada acidez, englobando uma boa parte da área já ocupada com agricultura e pecuária. Para RODRIGUES et al. (2003) os Latossolos Amarelos do município de Paragominas apresentam características químicas indesejáveis, necessitando de correções, principalmente, da acidez elevada e dos teores elevados de alumínio extraível, assim como a necessidade de elevação do conteúdo de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas cultivadas. As propriedades físicas não apresentam restrições ao uso agrícola intensivo, contudo, devem ser adotadas práticas de manejo e conservação do solo, em função da erosão hídrica, resultante dos elevados índices pluviométricos que ocorrem no período chuvoso.

Dessa forma, pode-se notar que nas regiões de integração situadas no Sudeste Paraense tende a haver predomínio das terras aptas para a pecuária. No nordeste do estado a exemplo da região de integração Rio Capim (município de Paragominas), o relevo menos acidentado (Figura 2) associado a predominância de Latossolos Amarelos, favorece as atividades agrícolas, sendo este um dos fatores que contribui para a elevada produção de grãos no município de Paragominas (FAPESPA, 2017) e para a difusão da prática de integração lavoura pecuária nesse município (FERNANDES et al., 2009; VELOSO et al., 2010; SILVA et al., 2015).

2.2 Ocupação do Território e Emissões de GEE da Agropecuária na Região Amazônica

De acordo com VEIGA et al. (1996) a criação de gado na Amazônia foi introduzida em áreas originalmente de floresta, a partir da década de 70, através de grandes empreendimentos que foram beneficiados pelos incentivos fiscais do Governo Federal, havendo três períodos

distintos de sua colonização: o primeiro prevaleceram as culturas de subsistência (1972-1978); o segundo marcou a introdução e produção de culturas perenes como o cacau, a pimenta-do-reino e o café (1978-1988); e o terceiro e mais recente, o da pecuarização e do "boom" madeireiro que ocorreram a partir de 1988. De acordo com os autores ao longo do tempo a criação de gado na região deixou de ser praticada somente por estabelecimentos de maior porte, ocorrendo o processo de pecuarização da agricultura familiar.

Para WALKER et al. (1997) as restrições ao desmatamento na Amazônia favoreceram a pecuarização dos pequenos produtores. Esse fenômeno de transferência de rebanho dos grandes para os pequenos produtores ocorreu por meio da criação de gado "na meia", onde os colonos ofereciam o pasto e o cuidado durante um ano, sendo repartido o número de crias nascidas durante o período. Neste contexto, os pequenos produtores entenderam a atividade como a melhor forma de poupança, utilizando a venda de animais para despesas pessoais e da propriedade, e como a mais adequada em face das dificuldades do meio rural.

De acordo com DIAS-FILHO (2014) no Brasil é comum que áreas marginais, de difícil acesso e de baixo potencial agrícola sejam preferencialmente destinadas para a formação de pastagens. Por ter a capacidade de se autotransportar, o gado adapta-se a regiões onde a infraestrutura de estradas e os meios de transporte são deficientes e as distâncias do mercado consumidor são grandes, razão pela qual a pecuária historicamente vem sendo empregada na ocupação de áreas de fronteira agrícola no Brasil.

A utilização do fogo foi uma ferramenta comum para o estabelecimento de pastagens no início da expansão pecuária na Amazônia (WALKER et al., 1997; VEIGA et al., 1996; FALESI et al., 1980; FEARNSSIDE, 1980). As consequências da implantação de pastagens nos solos amazônicos foram objeto de controvérsia entre as décadas 70 e 80. Trabalhos realizados por FALESI (1974) e FALESI et al. (1980), procuraram demonstrar que a implantação de pastagens melhorava a qualidade do solo. De acordo FALESI et al. (1980), embora a queima causasse perdas de nitrogênio e enxofre, assim como de certos compostos orgânicos, estas perdas não implicariam necessariamente no declínio destes elementos. Estes autores defendiam não terem fundamento as afirmativas de que o fogo seria o responsável pelo empobrecimento do solo com respeito ao húmus, nitrogênio e redução de fertilidade.

Na região nordeste do Pará, FALESI et al. (1980) compararam amostras de solo de mata virgem, área derrubada e queimada, capoeira média, capoeira alta, macega, roçado de mandioca, roçado de milho x arroz x mandioca, cacau em sub-bosque, cacau em ex-pimental, seringal plantado e pastagem quicuio. Entre todos os tratamentos, a pastagem quicuio apresentou os níveis mais altos de matéria orgânica, N, Ca, Mg, K, P, soma e saturação de bases, assim como pH menos ácido e menor saturação de alumínio. Esses resultados foram justificados pelos autores como efeito residual das cinzas de queimadas periódicas e da decomposição natural das pastagens, urina e dejetos dos animais em pastoreio.

FEARNSSIDE (1980) contrapôs aos trabalhos realizados por FALESI (1974, 1976, 1980), sugerindo que estes resultados poderiam ser consequência da variabilidade natural entre os locais de onde as amostras de solo foram coletadas. Para FEARNSSIDE (1980) a grande maioria dos nutrientes no ecossistema da floresta estão estocados na vegetação e não no solo, o que tornaria a comparação isolada dos níveis de nutrientes do solo em proposição, não representativa. Além disso, níveis mais altos dos nutrientes sob a pastagem não significaria, necessariamente, que a pastagem pudesse fornecer uma produção indefinidamente sustentável.

Em meio a um intenso debate científico e social, o desmatamento via utilização do fogo tem acompanhado a ocupação do território e expansão da fronteira agrícola na região amazônica (RIVERO et al., 2009; VALE & ANDRADE, 2012; CASTRO, 2005), desempenhando papel importante na emissão de carbono (RIVERO et al., 2009).

MOURA et al. (2017) realizaram uma compilação de informações (SEEG & OCF, 2016b; SEEG, 2016a) resultando nas Figuras 6 e 7, nas quais se demonstram que o

desmatamento é a principal fonte brasileira de emissão de GEE para a atmosfera. Entre 1995 e 2015, as emissões brutas de GEE do Pará caíram de 482 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e) para 216 MtCO₂e, uma redução de 45%. Porém, a trajetória das emissões teve períodos muito distintos de aumento e redução. Em 2004, as emissões atingiram o pico de 732 MtCO₂e, caindo de maneira expressiva para cerca de 180 MtCO₂e em 2012. A queda de 80% no desmatamento de 2004 a 2012 é a principal razão para essa redução (Figuras 6 e 7). No entanto houve um crescimento de 11% das emissões no Pará entre 2012 e 2015, atingindo aproximadamente 216 MtCO₂e em 2015. Neste último ano, as emissões paraenses representaram 11% das brasileiras, sendo a segunda unidade da federação com maior emissão de GEE, atrás apenas do estado de Mato Grosso. Por fim, a agropecuária praticada no Pará emitiu mais de 1 milhão de toneladas de metano (CH₄), o equivalente a 35,7 MtCO₂e, ou 17% de todas as emissões de GEE do Estado em 2015.

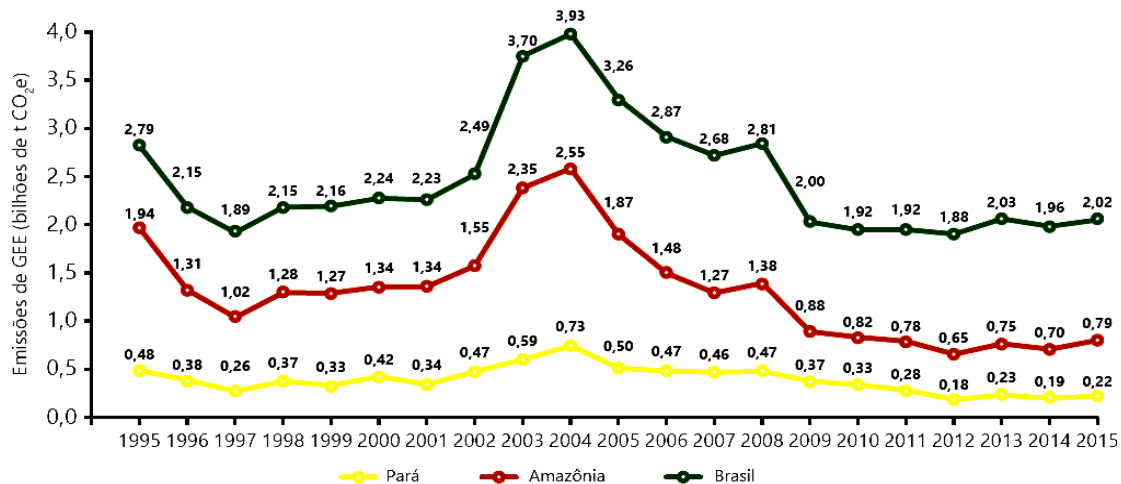


Figura 6. Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil, Amazônia e Pará entre 1995 e 2015 em bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (SEEG, 2016a). Fonte: MOURA et al. (2017).

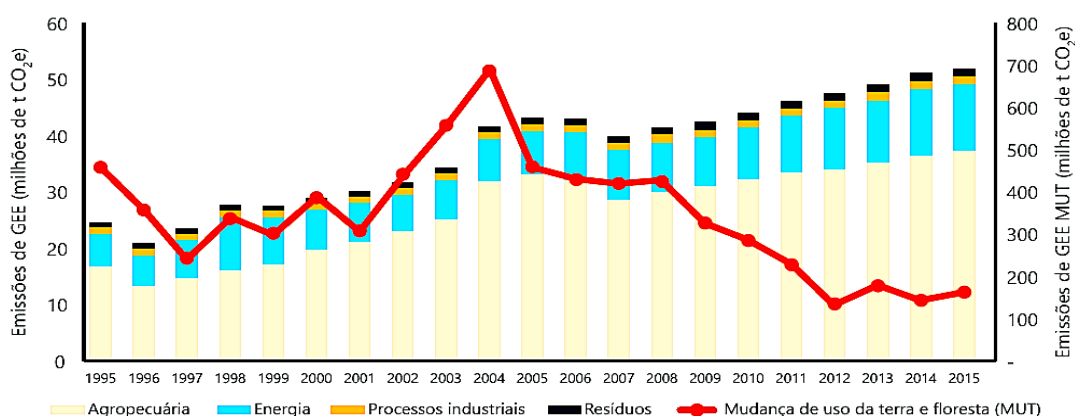


Figura 7. Emissões de GEE por setor no Pará entre 1995 e 2015 em milhões de toneladas de dióxido de Carbono equivalente (SEEG, 2016a). Fonte: MOURA et al. (2017).

De acordo com CASTRO (2005), as atividades econômicas responsáveis pelos desmatamentos e pela incorporação de novas áreas na Amazônia, voltadas para a expansão da produção agropecuária, têm relação com a dinâmica econômica de outras regiões do país e com o fato de a Amazônia ser a última fronteira de áreas florestais contínuas, não somente do País, mas também do mundo. Dessa forma, os fenômenos observados sobre a expansão da pecuária na Amazônia, não devem ser vistos como desconectados de um contexto nacional (VALE & ANDRADE, 2012).

No Estado do Pará segundo IDESP (2014) as questões ambientais têm sido de grande interesse nos círculos políticos e científicos, visando diminuir o impacto e/ou prever os cenários futuros resultantes da ação antrópica nos recursos florestais do Estado. O desmatamento está ligado às queimadas, necessárias à implantação de pecuária extensiva e cultivos agrícolas, tanto em áreas de vegetação primária quanto secundária. Na Figura 8 é possível notar que as ocorrências de desmatamento se distribuem em quase todo o estado do Pará.

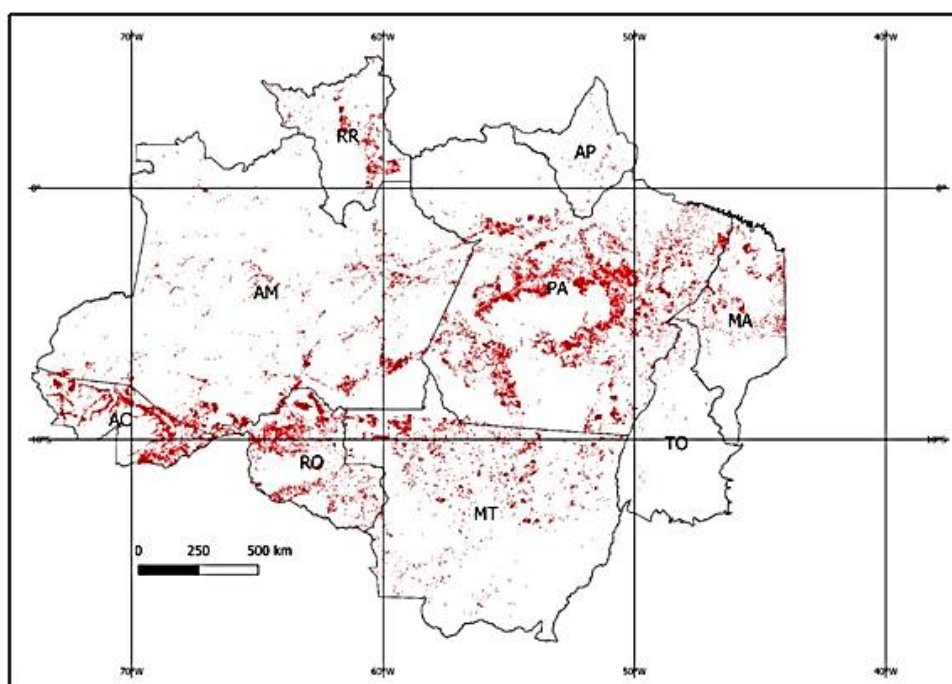


Figura 8. Mapa de ocorrências de desmatamento identificadas no PRODES 2020, nas 229 cenas que compõem a Amazônia Legal Brasileira. Fonte: INPE (2021a).

De acordo com MOURA et al. (2017) o desmatamento da Amazônia e no Pará é desnecessário, pois as áreas desmatadas na região que estão abandonadas ou degradadas já seriam suficientes para garantir o aumento da produção agropecuária no futuro. Apesar da queda expressiva nas taxas anuais de desmatamento de 2004 e 2012 – de 8,9 mil quilômetros quadrados para 1,7 mil quilômetros quadrados, respectivamente –, o desmatamento voltou a subir no Pará nos últimos anos, atingindo cerca de 4,8 mil quilômetros quadrados em 2020 (Figura 9), (INPE, 2021b).

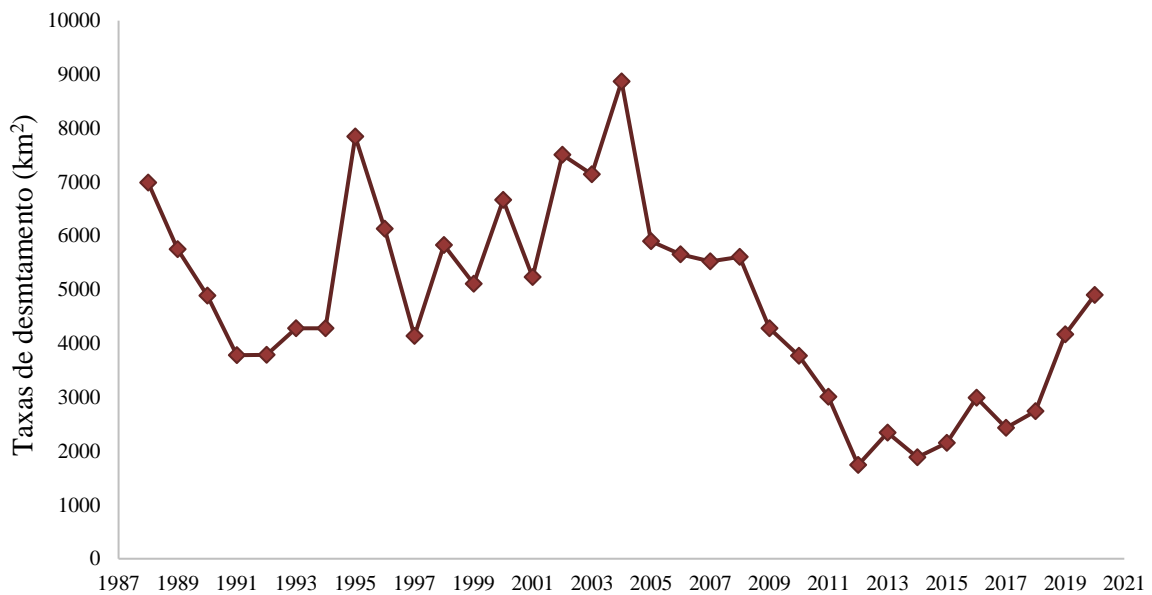


Figura 9. Taxa de desmatamento no Pará de 1988 a 2020. Fonte: INPE (2021b).

O fogo também tem sido utilizado pelos produtores como uma alternativa atraente para renovar as pastagens e pôr fim às plantas invasoras. Geralmente, a queima é realizada no período da seca, para que as forrageiras rebrotem com as primeiras chuvas (EMBRAPA, 2002). O efeito a curto prazo é bastante positivo, devido aumento do pH, das bases trocáveis e fósforo, e uma redução do alumínio trocável e da porcentagem de saturação de alumínio (ZANINE et al., 2005; COSTA et al., 2011), permitindo o surgimento de pasto novo e macio e área limpa de invasoras (EMBRAPA, 2002). No entanto, a longo prazo, os resultados são desastrosos, tanto para a pastagem quanto para o bolso do pecuarista, pois quando as queimadas são sucessivas, ano após ano, a pastagem pode ser totalmente destruída (EMBRAPA, 2002).

O fogo mata os microrganismos do solo; diminui a quantidade de matéria orgânica favorecendo a atividade do alumínio da solução do solo e aumentando a acidez potencial; provoca perdas de nitrogênio, enxofre e potássio em consequência da combustão da biomassa e remoção das cinzas por meio da chuva; diminui a capacidade de retenção de água no solo; esgota as reservas de crescimento das gramíneas favorecendo o desaparecimento do capim, deixando o solo descoberto e sem proteção; a ação posterior dos ventos e das chuvas leva os nutrientes da terra deixando o solo compactado e suscetível ao estabelecimento de algumas espécies de invasoras (EMBRAPA, 2002; ZANINE et al., 2005; JACQUES, 2003; COSTA et al., 2011).

Para JACQUES (2003) a queima exclusiva da parte aérea acarretaria menores prejuízos ao solo e à vegetação, desde que o material queimado (cinza) não fosse arrastado pelas águas das chuvas. Entretanto, esta condição é inevitável nas situações de relevos ondulados e acidentados. Nesta perspectiva, alguns autores defendem que os malefícios do fogo ao solo ocorrem quando são realizadas queimadas severas eliminando toda a matéria orgânica presente, onde um efeito contrário poderia ser obtido com a realização de queima controlada favorecendo a mineralização da matéria orgânica e promovendo um aumento de até 100% nos teores de N, P, K, Ca e Mg mineralizados após o fogo (JACQUES, 2003; COSTA et al., 2011).

CARDOSO & CRISPIM (2001) observaram que o uso contínuo do fogo provocou a redução da biomassa em áreas de pastagem no pantanal e diminuiu da frequência das espécies de gramíneas. De acordo com os autores, enquanto esta prática não for substituída por alternativas mais racionais, recomenda-se o cumprimento das exigências legais junto ao Ibama

e atenção especial a umidade do solo, limpeza de aceiros, direção do vento, tamanho das áreas, hora ideal de queima, e principalmente, não queimar anualmente a mesma área.

2.3 Pecuária Sustentável como Ferramenta de Mitigação das Emissões de GEE na Região Amazônica

Um dos principais problemas ambientais causados pela expansão das pastagens na Amazônia, é a exploração intensiva das pastagens com baixo nível tecnológico (BALBINO et al., 2011).

A degradação de pastagens é um fenômeno global, tendo como uma das principais causas o manejo inadequado, em particular o uso sistemático de taxas de lotação que excedam a capacidade do pasto de se recuperar do pastejo e do pisoteio (FAO, 2009; DIAS-FILHO, 2014). Outras causas importantes são a ausência de adubações e correções periódicas, escolha inadequada da planta forrageira, falhas no estabelecimento da pastagem e os problemas bióticos, como o ataque de insetos-praga e, mais recentemente, a síndrome da morte do capim-marandu na região Norte. (DIAS-FILHO, 2011; DIAS-FILHO, 2014; ZANINE et al., 2005).

De acordo com DIAS-FILHO (2014, 2017) uma pastagem pode ser considerada degradada dentro de um universo relativamente amplo de condições. Os extremos dessas condições são conceitualmente denominados “degradação agrícola” e “degradação biológica” (DIAS-FILHO, 1998, 2011). Na degradação agrícola, há um aumento na proporção de plantas daninhas na pastagem, diminuindo gradualmente a capacidade de suporte. Na degradação biológica, o solo perde a capacidade de sustentar a produção vegetal de maneira significativa, levando à substituição da pastagem por plantas pouco exigentes em fertilidade do solo, ou simplesmente ao aparecimento de áreas desprovidas de vegetação (solo descoberto), facilitando a erosão, a perda de matéria orgânica e de nutrientes do solo.

Para DIAS-FILHO (2014), considerando que os índices zootécnicos de pastagens recuperadas estão muito acima dos índices de pastagens degradadas ou em degradação (Tabela 1), seria possível inferir que para cada hectare de pastagem recuperada, cerca de 3 ha poderiam ser liberados para outros fins não pecuários (agrícolas, florestais ou de preservação), sem que com isso houvesse perda dos níveis atuais de produção da pecuária nacional, proporcionando também o abreviamento das fases de cria e engorda. Neste sentido, OLIVEIRA et al. (2006) também demonstra que os índices zootécnicos médios dos rebanhos brasileiros podem ser melhorados em sistemas de produção com maior uso de tecnologia (Tabela 2).

Tabela 1. Índices zootécnicos médios estimados da pecuária sob pastagem de baixa produtividade (pastagem em degradação) e da pecuária sob sistema melhorado (pastagem recuperada) sob média intensificação.

Índice	Baixa produtividade	Sistema melhorado
Taxa de natalidade (%)	60	85
Taxa de mortalidade até a desmama (%)	4	2
Idade à primeira cria (anos)	4	2,5
Idade ao abate (anos)	4,5	2,5
Lotação (cabeças/ha)	0,7	2,5

Adaptado de DIAS-FILHO (2010, 2014).

Tabela 2. Índices zootécnicos médios do rebanho brasileiro e em sistemas tecnológicos mais evoluídos.

Índices	¹ Média Brasileira	¹ Sistema melhorado	¹ Sistema com tecnologia avançada	² Meta
Natalidade	60%	70-80%	>80%	= 90%
Mortalidade até a desmama	8%	6%	4%	2%
Taxa de desmama	54%	65%	75%	88%
Mortalidade pós-desmama	4%	3%	2%	1%
Idade a 1º cria	4 anos	3 – 4 anos	2 – 3 anos	1,7 – 2,6
Intervalo de partos	21 meses	18 meses	14 meses	12
Idade de abate	4 anos	3 anos	2,5 anos	1 - 2
Taxa de abate	17%	20%	22%	= 35%
Peso de carcaça	200 kg	220 kg	230 kg	245 kg
Rendimento de carcaça	53%	54%	55%	55%
Lotação	0,9 an/ha	1,2 an/ha	1,6 an/ha	= 2 U.A/ha
Kg de carcaça/ha	34	53	80	= 200
Taxa de descarte de matrizes	---	---	---	15 – 20%

U.A = unidade animal (450 kg); an = animal. Fonte: ¹Adaptado de ZIMMER & EUCLIDES FILHO (1997) por OLIVEIRA et al. (2006), ²Proposto por OLIVEIRA et al. (2006).

De acordo com ANDRADE (2008) o manejo correto das pastagens é fundamental para qualquer sistema de criação de bovinos a pasto. Em pastagens bem manejadas, as forrageiras normalmente apresentam crescimento mais vigoroso, protegem melhor o solo e conseguem competir de forma mais vantajosa com as plantas invasoras, resultando em menor gasto com limpeza e manutenção das pastagens. O manejo correto também contribui para melhorar a nutrição do rebanho e, conseqüentemente, aumentar seus índices produtivos, reprodutivos e sanitários.

Neste sentido, EUCLIDES (2001) alerta para a importância de conhecer as características das pastagens tropicais, onde a disponibilidade e a qualidade das forrageiras são influenciadas pela espécie e pela cultivar, pelas propriedades químicas e físicas do solo, pelas condições climáticas, pela idade fisiológica e pelo manejo a que a forrageira é submetida.

Para EUCLIDES (2001) a baixa fertilidade do solo é a maior limitação à intensificação da produção de carne em pastagem no Brasil. Para a autora, em condições edafoclimáticas normais, e mediante a inexistência de outra limitação, seguramente o nitrogênio é o fator de maior impacto na produtividade da pastagem, sendo considerado por BODDEY et al. (2004) como um dos elementos chave para esta finalidade. De acordo com CAMARGO & MONTEIRO NOVO (2011) desde que haja equilíbrio entre os outros nutrientes em níveis elevados, o aumento da produção das plantas forrageiras tropicais é modulado pela adubação nitrogenada, que influencia diretamente o teor de proteína, crescimento da planta, perfilhamento e expansão foliar.

A correção da acidez do solo associada as adubações de implantação e manutenção da forrageira tendem a repercutir positivamente na taxa de lotação e nos ganhos individuais dos animais (EUCLIDES, 2001; CAMARGO & MONTEIRO NOVO, 2011). EUCLIDES (2001) demonstra resultados obtidos no cerrado brasileiro, onde a correção da fertilidade do solo em área de pastagem possibilitou obter taxa de lotação de até 7,6 U.A ha⁻¹ no período das águas e até 2,0 U.A ha⁻¹ no período seco. O ganho médio diário foi de até 0,835 kg dia⁻¹ no período das águas e 0,452 kg dia⁻¹ no período seco. De acordo com CAMARGO & MONTEIRO NOVO (2011) respostas lineares à adubação nitrogenada, quanto a capacidade de suporte das pastagens, tem sido obtidas até o nível de 800 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Para DIAS-FILHO (2012) a adubação será essencial para a boa formação da pastagem, onde o planejamento da correção da

fertilidade do solo deverá levar em consideração o nível de exigência das gramíneas forrageiras (Tabela 3).

Tabela 3. Grau de exigência de alguns tipos de capins à fertilidade do solo.

Capins	Exigência em fertilidade do solo
Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	Alta
Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)	Alta
Marandu (<i>Brachiaria brizantha</i>)	Média
Piatã (<i>Brachiaria brizantha</i>)	Média
Xaraés (<i>Brachiaria brizantha</i>)	Média
Massai (<i>Panicum maximum</i>)	Média
Humidicula (<i>Brachiaria humidicula</i>)	baixa

Fonte: DIAS-FILHO (2012).

Diversos trabalhos têm mostrado que a lotação rotacionada é uma ferramenta eficiente para otimização do uso de pastagens (SANTOS et al., 2005; OLIVEIRA, 2006; ANDRADE, 2008; ZONTA & ZONTA, 2013), especialmente se considerarmos pastagens com elevada produção de biomassa em função da adubação.

Para ANDRADE (2008) o pastejo rotacionado é um sistema no qual a pastagem é subdividida em três ou mais piquetes, que são pastejados em sequência por um ou mais lotes de animais. Difere do pastejo contínuo, em que os animais permanecem na mesma pastagem ao longo de meses, e do pastejo alternado, no qual a pastagem é dividida em dois piquetes. Para o autor, o pastejo rotacionado favorece o uso de maior taxa de lotação, a rebrotação das forrageiras e maior competição com as plantas daninhas e ciclagem de nutrientes mais eficiente, devido à melhor distribuição de fezes e urina na pastagem.

De acordo com EUCLIDES (2001) o pastejo controlado deveria ser o primeiro componente para qualquer sistema de pastejo. Para a autora, a disponibilidade de forragem determina a taxa de lotação e essa, por sua vez, controla simultaneamente a qualidade e a quantidade das pastagens, possibilita, ou não, que as plantas se mantenham produtivas e, ao mesmo tempo, define a produção animal. Dessa forma, a ênfase no manejo deve ser colocada na utilização da pressão de pastejo correta comparada com o sistema de pastejo.

O manejo do pasto pode ser realizado em função do período de descanso da forrageira em diferentes épocas do ano e o período de ocupação do pasto (OLIVEIRA, 2006; ZONTA & ZONTA, 2013; SANTOS et al., 2005). Segundo OLIVEIRA (2006) o período de descanso é o número de dias em que o piquete fica sem animais pastando e se recupera para novo pastejo, esse período pode ser diferente de acordo com a espécie forrageira e época do ano, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Período de descanso recomendado para algumas espécies de plantas forrageiras adubadas.

Espécie	Período de descanso	
	Verão	Inverno
Capim-colonião (<i>Panicum maximum</i>)	35 dias	45 dias
Capim-tanzânia (<i>P. maximum</i>)	35 dias	45 dias
Capim-tobiatã, capim-mombaça (<i>P. maximum</i>)	28 dias	45 dias
Capim-braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>)	35 dias	45 dias
Capim-braquiarão (<i>B. brizantha</i>)	35 dias	45 dias
Capim-estrela, capim-coast-cross (<i>Cynodon spp.</i>)	25 dias	45 dias

Fonte: SANTOS et al. (2005).

Para determinar o período de descanso, deve-se levar em consideração informações sobre a produção, as perdas, a curva de crescimento e o valor nutritivo da planta forrageira (SANTOS et al., 2005). Os períodos de descanso são apenas indicativos, pois as condições de clima e de solo de cada região podem interferir, e, portanto, haver necessidade de aumento ou de diminuição desses períodos (OLIVEIRA, 2006).

DIAS-FILHO (2012) considera que as taxas de lotação, assim como os períodos de descanso da pastagem, não podem ser fixas, pois a capacidade do pasto em produzir forragem para o gado varia de acordo com o local e o período do ano. Para o autor, uma forma eficaz de avaliar a capacidade de crescimento do pasto é observar a altura do pasto. Na Tabela 5 estão listadas recomendações de altura para entrada (pré-pastejo) e saída (pós-pastejo) para alguns capins, quando manejados em sistema de pastejo sob lotação rotativa.

Tabela 5. Alturas médias (cm) do capim indicadas para entrada (pré-pastejo) e saída (pós-pastejo, sob duas condições de fertilidade do solo) dos animais em sistema de pastejo sob lotação rotativa.

Capim	Entrada	Saída (maior fertilidade)	Saída (menor fertilidade)
Gênero <i>Brachiaria</i>			
Marandu	25	15	20
Xaraés	30	15	20
Piatã	35	15	20
Humidicula	20	5	10
Gênero <i>Panicum</i>			
Massai	45	20	30
Mombaça	90	30	50
Tanzânia	70	30	50
Gênero <i>Cynodon</i>			
Estrela	35	15	25
Tifiton-85	25	10	15
Gênero <i>Andropogon</i>			
<i>Andropogon gayanus</i>	50	25	35

Fonte: DIAS-FILHO (2012).

CARNEVALLI (2009) e PEDREIRA et al. (2007) propõem que o manejo de pastagens seja realizado com base na interceptação de luz no dossel. De acordo com CARNEVALLI (2009) quando a parte aérea do pasto atinge 95% de interceptação da luz vinda do sol, as plantas começam a competir por luz, principalmente. Inicia-se então a falta de luz para as folhas mais próximas do solo e estas começam a morrer. Em resposta, as plantas alongam os colmos rapidamente para melhorar o ambiente luminoso. Para o autor, o pastejo deve ser realizado no ponto anterior aos 95% de interceptação de luz, correspondendo a 90 cm de altura média de folhas para o capim mombaça, 70 cm para o capim tanzânia, 100 cm para o capim-elefante cv. cameroon, 30 cm para capim marandu e 35 cm para capim xaraés.

Independente do sistema de pastejo adotado, em geral, grande proporção de forragem é produzida durante os períodos das águas, ocorrendo déficit de forragem durante o período seco devido a diminuição das chuvas (EUCLIDES et al., 2008; SOBRINHO et al., 2011). Neste período a produção de matéria seca é um terço daquela observada no período chuvoso (COSTA et al., 2005). Conseqüentemente, as pastagens comportam elevado número de animais nas águas e esse número se reduz drasticamente durante a seca (EUCLIDES, 2001).

De acordo com GUARDA et al. (2015) a diminuição da produção das pastagens em virtude da redução na disponibilidade de fatores ambientais, como luz, temperatura e água recebe a denominação de estacionalidade de produção de forragem. Assim, temos o que

chamamos de período das águas – em que os pastos estão altamente produtivos, se bem nutridos e manejados – e a época de seca, momento em que os pastos reduzem ou cessam seu crescimento (Figura 10).

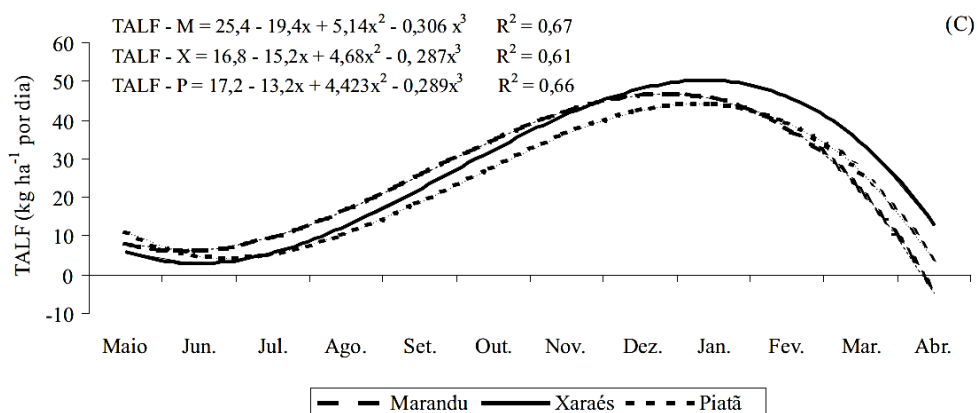


Figura 10. Taxa de acúmulo de lâmina foliar (TALF) de pastos de *B. brizantha* cultivares Marandu (M), Xaraés (X) e Piatã (P), no intervalo de maio de 2003 a abril 2004. Fonte: EUCLIDES et al. (2008).

Para EUCLIDES (2001) apesar do efeito residual da correção da acidez do solo e da adubação das pastagens aumentar a capacidade de suporte durante o período seco, o maior benefício é observado durante o período das águas, quando as condições climáticas não são limitantes. Segundo a autora, para se intensificar a produção das pastagens no período das águas, o produtor tem que estar preparado para a produção de alimentos suplementares para serem utilizados durante o período seco, como feno, silagem, ou a reserva de pastagens estrategicamente vedadas nas águas para pastejo durante o período crítico.

De acordo com GUARDA et al. (2015) o diferimento da pastagem é uma alternativa barata para reduzir os efeitos da estacionalidade de produção de forragem. Essa técnica consiste na vedação de parte da pastagem de forma programada, do meio para o fim do período das águas, como forma de garantir forragem para ser pastejada no período seco.

No período seco além da diminuição da produção de forragem o valor nutricional das gramíneas também é afetado. De acordo com COSTA et al. (2005) os valores nutritivos das gramíneas tropicais durante o período de seca são baixos. Na maioria das vezes, os teores de proteína bruta não atingem o valor mínimo de 7,0%, que são limitantes à produção animal, por implicarem redução da digestibilidade e menor consumo voluntário. Esses autores observaram teores de PB de 7 % no período seco e 11,98% no período das águas para o capim Marandu. EUCLIDES et al. (2009) também observaram que o teor de PB dos capins Marandu, Xaraés e Piatã tendem a ser maiores no período das águas do que no período seco.

Uma forma de corrigir a deficiência de proteína no período seco, maximizar o aproveitamento da pastagem diferida e até proporcionar ganho de peso para os animais no período seco é o uso de suplementos (GOMES et al., 2015; ALBERTINI et al., 2015). Dessa forma, além da suplementação utilizada para corrigir as deficiências minerais da pastagem, podem ser adicionados elementos para tornar os suplementos mais ricos em proteína e energia (SENAR, 2018).

A suplementação pode ser realizada a partir de formulações mais simples como o sal mineral com ureia ou mais complexas como o proteinado, mistura múltipla e a ração de semiconfinamento, que visam atender diferentes níveis de consumo e ganho de peso (GOMES et al., 2015; THIAGO, 1999). A suplementação de animais a pasto pode ser em níveis de 0,7 a 2% do PV em situações de semiconfinamento (GOMES et al., 2015), sendo mais usual a

suplementação de até 1% do PV em programas de suplementação que almejam ganhos de peso moderados a pasto (NICODEMO, 2001; SENAR, 2018; NOGUEIRA et al., 2015).

A resposta à suplementação em termos de ganho de peso é variável e multifatorial, conforme demonstram diversos estudos na área (Tabela 6). A composição dos suplementos, níveis de oferta, disponibilidade de volumoso, genética e categoria dos animais, sanidade, época do ano e fatores regionais podem condicionar diferentes respostas para os animais, razão pela qual a elaboração dos programas de suplementação deve seguir critérios técnicos específicos para cada rebanho.

Tabela 6. Níveis de oferta de suplemento e ganho de peso de diferentes categorias de bovinos de corte em distintas épocas do ano.

Autor	Categoria/Suplemento / Época	PB %	NDT %	Consumo estimado	GMD (kg)
Thiago (1999)	Bezerro / MM / 1° Seca	31	76	0,3 a 1% PV	0,4
Thiago (1999)	Novilho / MM/ Águas	22	74	2 kg/cab/dia	0,7
Thiago (1999)	Novilho / MM / 2° Seca	22	80	0,8 a 1% PV	0,5
Thiago (1999)	Novilho / MM / Confinamento	22	79	1% do PV	1,2
Baroni et al. (2010)	Novilho / MM / Terminação	49,4	¹ 64,15	0,48% PV	0,372
Sales et al. (2008)	Novilho / MM / Águas-Seca	22,93	87,6	0,45% PV	0,664
Moretti et al. (2011)	Novilha / Prot.-Energ./ Águas	26	81	0,3% PV	0,7
Cabral et al. (2008)	Touro PO / Controle / Seca-Águas	-	-	0% PV	0,99
Cabral et al. (2008)	Touro PO /MM / Seca-Águas	22	71,26	0,2% PV	1,02
Cabral et al. (2008)	Touro PO /MM / Seca-Águas	22	71,26	0,4% PV	1,11
Cabral et al. (2008)	Touro PO /MM / Seca-Águas	22	71,26	0,6% PV	1
Garcia et al. (2014)	Touro PO / SMP/ Seca	56,3	-	0,2 % PV	0,63
Garcia et al. (2014)	Touro PO / SEP/ Seca	21,6	-	0,8 % PV	0,79
Euclides (2000)	Bezerro /Conc. Energ.-Prot./Seca	-	-	0,8% PV	0,49 a 1,03

MM - mistura múltipla; SMP - sal mineral proteinado; SEP - suplemento energético-proteico; PV – peso vivo; GMD – ganho médio diário; cab – cabeça; PO – puro de origem; Prot. – proteico; Energ. – energético; ¹calculado.

Além de toda a tecnologia voltada para o manejo e aproveitamento das gramíneas forrageiras visando maximizar a produtividade animal, estas podem também operar em sistemas de consorciação com leguminosas forrageiras e aproveitamento de espaços utilizados para a agricultura e silvicultura (integração lavoura-pecuária-floresta). A consorciação de gramíneas e leguminosas forrageiras tem sido uma das alternativas para o suprimento do N e aumento da capacidade de lotação nas pastagens, com incrementos de N variando de 100 a 135 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ através da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (REIS JUNIOR et al., 2002; ANDRADE et al., 2012; BODDEY et al., 2015).

O principal fator limitante na adoção dessa técnica é a falta de persistência das leguminosas nas pastagens (REIS JUNIOR et al., 2002). Porém, a utilização de cultivares de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) tem ganhado importância devido ao excelente valor nutricional e boa persistência em pastagens mistas possibilitando altas taxas de lotação (ASSIS et al., 2015). A leguminosa *Arachis pintoi* cv. BRS Mandobi, lançada pela Embrapa Acre, tem apresentado bom desempenho agrônomico em pastagens mistas na Amazônia, destacando-se também pela alta produção de sementes viáveis para o plantio, diminuindo o custo de implantação quando comparada a cultivares propagadas vegetativamente (ASSIS et al., 2013; ANDRADE et al., 2012).

Em relação aos sistemas integrados de produção, embora a integração lavoura-pecuária (ILP) seja o sistema mais difundido e estudado (FERNANDES, 2009), outros arranjos como a integração pecuária-floresta (IPF), integração lavoura-floresta (ILF) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) também são praticados (BALBINO et al., 2019).

Para BALBINO et al. (2011) a inclusão do componente arbóreo ao da lavoura e da pastagem representa um avanço inovador da ILP, evoluindo para o conceito de ILPF, estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, num cultivo consorciado, em sucessão ou rotação, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema.

Para a reforma de pastagens degradadas o consórcio de milho (*Zea mays* L.) com *Brachiaria*, denominado Sistema Santa Fé tem sido amplamente pesquisado no Brasil (CECCON et al., 2013). Para os autores, o consorcio possibilita a produção de grãos de milho e de soja em sistema plantio direto, mantendo o solo permanentemente coberto e a produção de forragem para alimentação de animais. Segundo VILELA et al. (2001) as forrageiras quando inseridas nos sistemas integrados contribuem para maior eficiência da reciclagem de nutrientes, com as gramíneas forrageiras incorporando os resíduos da adubação da cultura agrícola anterior e disponibilizando esses nutrientes para os animais e cultura agrícola posterior. Para os autores as pastagens, de modo geral, têm a capacidade de manter ou até mesmo aumentar o teor de matéria orgânica do solo, em contraste com os cultivos anuais, conforme pode ser observado na Figura 11.

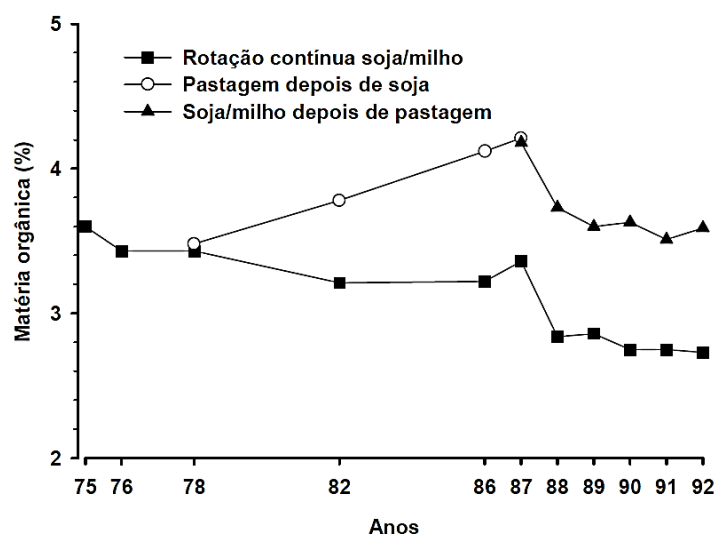


Figura 11. Dinâmica da matéria orgânica na camada de 0 a 20 cm de profundidade em dois sistemas de rotação de culturas em um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. SOUSA et al. (1997) citado por VILELA et al. (2001).

Os sistemas de integração entre lavoura e pecuária têm potencial para aumentar a produtividade de grãos e carne/leite e reduzir os riscos de degradação VILELA et al. (2001), contudo, outros benefícios também são atribuídos aos sistemas integrados, como: o aumento do N, P e S na matéria orgânica ativa do solo, aumento da atividade biológica e porosidade do solo; cobertura constante do solo reduzindo erosão; favorecimento da infiltração de água para recomposição dos lençóis freáticos; incrementos no vigor das pastagens no período seco contribuindo para a manutenção do peso dos animais nesse período; aumento da capacidade de suporte das pastagens; proporciona bem-estar animal; auxilia no controle de plantas invasoras e quebra do ciclo de pragas e microrganismos patogênicos; redução da pressão para a abertura

de novas áreas e mitigação do efeito estufa, resultante do maior capacidade de sequestro de carbono (VILELA et al., 2001; VILELA et al., 2011; BALBINO et al., 2019).

De acordo com ASSAD et al. (2019) os sistemas de produção que utilizam ILPF com preparo mínimo ou sem preparo do solo e com manutenção de palhada passam da condição de fonte de CO₂ rumo a atmosfera para a condição de dreno ou assimilação de CO₂ para o solo. O estudo desses autores tem demonstrado que a diferença no estoque de C no solo entre pastagem degradada e ILP/ILPF, pode ser de 16 a 17 t C ha⁻¹ em um horizonte de dez anos, o que corresponde a uma taxa de 1,6 a 1,7 t C ha⁻¹ ano⁻¹. Dessa forma, a adoção da ILP em quatro milhões de hectares, corresponderia a uma redução de emissões de 18 a 28 milhões de t CO₂e ou mais, com aumento da produtividade na pecuária e redução do desmatamento. Essas projeções permitiriam que a meta da agricultura ABC para a conversão de pastagens degradadas em ILP ou ILPF até 2020 resultassem em um potencial de mitigação de 230 milhões de t CO₂e ano⁻¹.

Os sistemas integrados conjugam tecnologias de manejo do solo, culturas e animais, capazes de modificar o panorama da agricultura e pecuária nacional, tornando esses setores cada vez mais produtivos e sustentáveis. Contudo, a resistência a novas tecnologias por parte dos produtores, necessidade de mão de obra qualificada, necessidade de alto investimento na aquisição de máquinas e implementos e falta de infraestrutura básica regional e mercado local para os produtos, estão entre os desafios a serem superados para maior difusão dos sistemas que integram agricultura, pecuária e floresta (BALBINO et al., 2019), sendo importante neste cenário a parceria entre pecuaristas e produtores de grãos (VILELA et al., 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Composição dos Cenários de Produção Utilizando Levantamento de Informações em Fazendas do Estado do Pará

Para o levantamento de informações sobre diferentes sistemas de produção de bovinos no estado do Pará foram utilizadas informações da literatura e principalmente informações obtidas diretamente em fazendas do estado. Foram percorridas as regiões de integração Lago de Tucuruí, Xingú e Rio Capim que respondem juntas por um rebanho de aproximadamente 6,4 milhões de cabeças, notabilizando-se como áreas importantes de produção de bovinos no contexto estadual e nacional (IBGE, 2020a).

Nas regiões de integração foram coletadas informações em fazendas dos municípios de Novo Repartimento, Pacajá, Breu Branco e Tucuruí como representantes das condições em que a pecuária é comumente praticada no Sudeste do Pará e o município de Paragominas que é referência tecnológica em integração lavoura pecuária (ILP) na região Nordeste do Pará (SEDAP, 2020; FAPESPA, 2017).

Os municípios de Novo Repartimento e Pacajá, ocupam atualmente o 3º e 10º lugar no ranking estadual dos municípios com maiores rebanhos bovinos com 884.331 e 559.776 cabeças respectivamente, destacando-se também no ranking dos 30 municípios brasileiros com maior rebanho bovino, dos quais nove municípios são do Pará (ABIEC, 2020; FAPESPA, 2017; IBGE, 2016). Os municípios de Breu Branco e Tucuruí apresentam rebanhos de 132.844 e 68.149 cabeças respectivamente, já o município de Paragominas possui um rebanho estimado em 318.436 cabeças (SEDAP, 2020; IBGE, 2020a).

No período de 2018 a 2020 foi realizado o levantamento de informações de 101 fazendas por meio de entrevistas com os proprietários e/ou gerentes. Ao fim de uma triagem foram utilizadas as informações de 98 fazendas para a construção da base de dados para esse estudo. Os questionários utilizados na pesquisa de campo foram baseados no trabalho de CARDOSO et al (2016a) e nos manuais de boas práticas agropecuárias na produção de bovinos de corte (VALLE, 2011) (Anexo 7.1). A aplicação do questionário foi realizada mediante entrevista semiestruturada abordando temas como: raças utilizadas; manejo de cria, recria e engorda; composição do rebanho; dietas de suplementação; controle zootécnico e forrageiras que compõem a pastagem. Quando possível, foram coletados também exemplares de controles zootécnicos, formulação de ração e análises de solo das fazendas (Figura 12), também foi realizado diálogo com técnicos das regiões para obtenção de informações complementares.

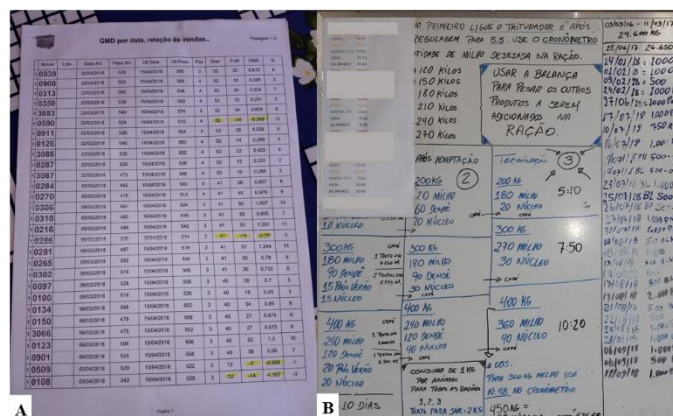


Figura 12. Exemplares de controle de ganho de peso (A) e formulação de suplementos (B) nas fazendas visitadas no estado do Pará.

As entrevistas realizadas foram aprovadas pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) da UFRRJ (Protocolo N° 081/2020) estando de acordo com a Resolução 466/12 que regulamenta os procedimentos de pesquisa envolvendo seres humanos. A seguir a Figura 13 apresenta algumas das entrevistas realizadas nos municípios de Novo Repartimento, Pacajá, Breu Branco, Tucuruí e Paragominas, e a Figura 14 apresenta a distribuição desses municípios no estado do Pará.



Figura 13. Entrevistas realizadas nos municípios de Novo Repartimento, Pacajá, Breu Branco, Tucuruí e Paragominas no estado do Pará.

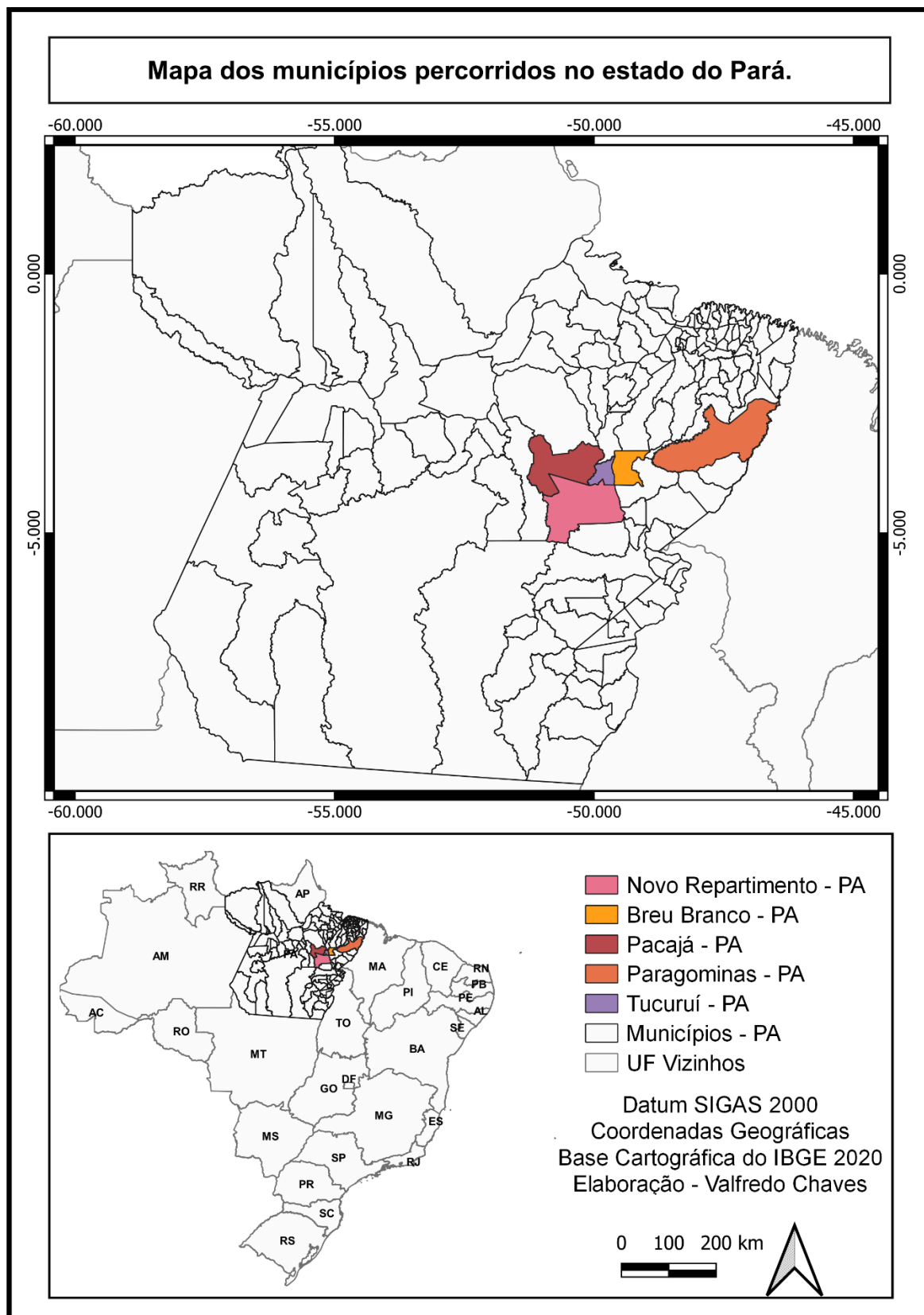


Figura 14. Localização dos municípios Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá, Paragominas e Tucuruí no Estado do Pará.

As informações obtidas na pesquisa de campo foram utilizadas para a composição de diferentes cenários de produção. A utilização de cenários são uma ferramenta de comparação entre eventos recíprocos essencialmente incertos e com alta variabilidade, possibilitando avaliar possíveis situações passadas ou futuras (TORQUIST, 2007). Para estimativa das emissões de GEE nos cenários identificados foram utilizadas metodologias baseadas na guia do IPCC (2006, 2019), a equação empírica desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014) para estimativa de metano entérico e fatores de emissão de N₂O das excretas obtidos em experimento de campo no município de Novo Repartimento (PA).

3.2 Geração de Fatores de Emissão de N₂O da Urina e Fezes de Bovinos Coletados em Fazendas do Pará

Para quantificar as emissões de N₂O da urina e fezes de bovinos foram adotados protocolos baseados nos trabalhos de LESSA (2011), CARDOSO (2012) e ZANATTA et al. (2014).

3.2.1. Experimento com fezes e urina de bovinos para quantificar a emissão de N₂O

O experimento foi instalado em uma área de Argissolo Vermelho-Amarelo na Fazenda Vista Alegre (4°10'55.7"S 50°01'54.0"W), situada no município de Novo Repartimento no Sudoeste do Pará, com tipo climático Awi caracterizado por ter índice pluviométrico anual entre 1.000 e 2.500 mm, com nítida estação seca e com temperatura média anual na faixa de 27 °C (BASTOS, 1984). A análise física e química do solo (0-20 cm) da área experimental é apresentada a seguir na Tabela 7.

Tabela 7. Análise química e física de amostras de terra coletadas na fazenda Vista Alegre.

Ds g/cm ³	Areia %	Silte %	Argila %	C* %	N %	Al cmol/dm ³	Ca cmol/dm ³	Mg cmol/dm ³	K mg/L	P mg/L	pH
1,33	28	16	56	0,66	0,12	0,71	1,34	1,12	93,6	9,37	4,8

Metodologia: NOGUEIRA & SOUZA (2005), *teor de C pelo método Walkley-Black corrigido pelo fator 1,3, assumindo-se que contabiliza apenas 70% do C orgânico existente.

A área experimental foi preparada no início de novembro de 2018. As parcelas foram estabelecidas em um pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu implantado há mais de 10 anos, onde não houve aplicação de corretivos e fertilizantes químicos desde a sua implantação. Inicialmente foi realizado o rebaixamento do capim, e o estabelecimento de parcelas de 1,2 m x 1,2 m com ruas de 0,8 m de largura. Em cada parcela foi inserida uma base metálica, cujas paredes laterais alcançavam 10 cm de profundidade do solo (Figura 15).

As emissões de N₂O foram quantificadas pela utilização de câmara estática fechada, tal como descrita em Alves et al. (2012), com algumas modificações nas dimensões do equipamento. As câmaras foram confeccionadas com volume de 20 litros e dimensões de 46,7 cm de comprimento, 32,3 cm de largura e 17,9 cm de altura. As câmaras foram posicionadas no centro das parcelas experimentais (Figura 16).



Figura 15. Preparo da área experimental: rebaixamento do capim, delimitação das parcelas e inserção das bases metálicas no solo.

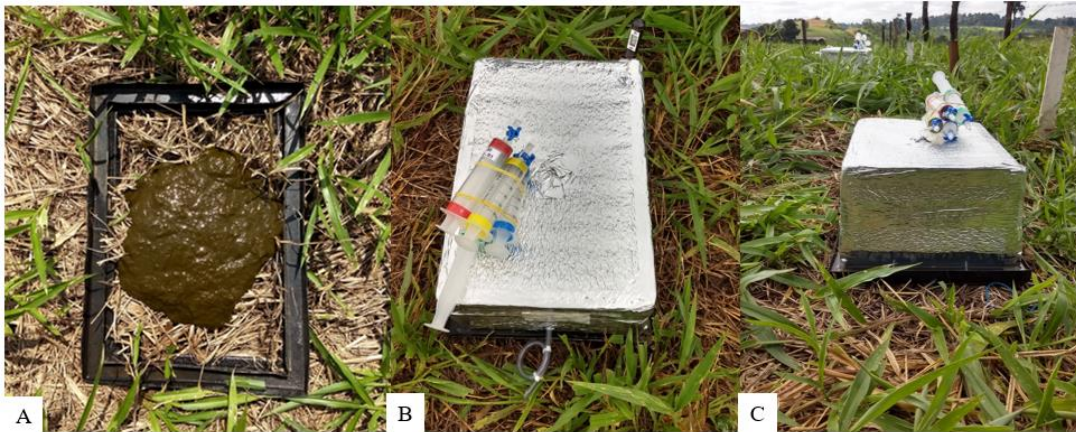


Figura 16. Câmara estática utilizada para medição dos fluxos de N_2O do solo e das excretas.

As excretas (urina e fezes) foram aplicadas nas câmaras, após serem coletadas de bois da raça Nelore com peso corporal médio de 400 a 450 kg (Figura 17). As coletas foram realizadas nas fazendas Três Corações no município de Novo Repartimento (PA) e fazenda Panorama no município de Breu-Branco (PA). As duas fazendas possuem sistemas de produção distintos e estrutura de curral que possibilita a execução da coleta de excretas. Na fazenda Três Corações os bois foram mantidos em pastejo contínuo em áreas de *Brachiaria brizantha* cv MG5 e *Brachiaria humidicola* (apenas em áreas de baixada). Nesta fazenda a pastagem não recebeu aplicação de corretivos e adubos e a alimentação dos bois foi a pasto e mistura mineral. Na fazenda Panorama os bois foram mantidos em pastejo rotacionado em área de *Brachiaria brizantha* cv MG5, onde parte dessa área é reservada para integração lavoura pecuária (ILP) utilizando como cultura agrícola um híbrido de milho de alta produtividade (DKB 177 PRO3). Nesta fazenda foi realizado no ano anterior a correção da acidez do solo com a associação de 2 Mg ha⁻¹ de calcário calcítico (PRNT 90%) + 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 90%), posteriormente foi realizada a adubação com ureia (200 kg ha⁻¹), MAP (250 kg ha⁻¹) e cloreto de potássio (220 kg ha⁻¹). Além do pasto adubado, o produtor também suplementava os animais com uma ração composta por farelo de milho, torta de dendê e núcleo (2 kg cab⁻¹ dia⁻¹).



Figura 17. Perfil dos animais utilizados para as coletas de excretas: Fazenda Panorama (A); Fazenda Três Corações (B).

A primeira tentativa de coleta das excretas foi realizada no dia 03/12/2018 na fazenda Três Corações utilizando 15 bois. Após a imobilização dos animais no brete, buscou-se estimular a bexiga através da ampola retal para induzir a micção (Figura 18) e em seguida coletar as fezes dos animais. Para a implantação do experimento havia a necessidade de se coletar um mínimo de 8,0 kg de fezes e 5,5 L de urina. Contudo, a metodologia e o número de animais utilizados inicialmente, possibilitou a coleta de 5,3 kg de fezes e 0,5 L de urina, insuficientes para a aplicação nas parcelas.



Figura 18. Metodologia utilizada inicialmente para coleta de excretas em bois nelore. Estímulo da bexiga através da ampola retal para induzir a micção, seguida da coleta das fezes.

Em visita realizada a fazenda Panorama no dia 04/12/2018 a metodologia de coleta das excretas foi revisada. Grupos de cinco animais foram enfileirados na seringa do curral com o salva-vidas parcialmente aberto, onde aguardou-se a micção espontânea dos animais por um período de 20 a 30 minutos (Figura 19A). Foram utilizados coletores improvisados com garrafas pet posicionadas abaixo do pênis dos bois para armazenar a urina (Figura 19B). Após a coleta da urina os bois foram imobilizados individualmente no brete (Figura 19C) por cerca de 3 minutos e as fezes foram coletadas através da ampola retal dos animais.



Figura 19. Coleta de excretas: Enfileiramento dos animais na seringa para aguardar a micção espontânea (A); Posicionamento do coletor para armazenar urina (B); Coleta de fezes através da ampola retal dos animais (C).

As fazendas Panorama e Três Corações foram visitadas para coletas de excretas nos meses de dezembro de 2018 e agosto de 2019. No mês de dezembro de 2018 na fazenda Panorama foram utilizados 40 bois para coleta de 6,5 L de urina e 12 kg de fezes. Na fazenda Três Corações foram utilizados 37 bois para coleta de 6,0 L de urina e 8,5 kg de fezes. No mês de agosto de 2019 na fazenda Panorama foram utilizados 13 bois para coleta de urina e fezes e 26 vacas submetidas a mesma dieta para complementar a coleta de fezes totalizando 6,25 L de urina e 10,6 kg de fezes coletados na fazenda. Na fazenda Três Corações foram utilizados 62 bois para a coleta de 5,5 L de urina e 11,7 kg de fezes. Em cada fazenda a coleta foi realizada em um único dia na parte da manhã.

Os principais desafios encontrados na coleta de excretas em animais nelore foram a necessidade de elevado número de animais para obtenção do material necessário, currais com infraestrutura adequada, temperamento dos animais que dificulta a atividade de coleta e variabilidade na quantidade de material amostrado, que pode ter sido influenciado pelo stress dos animais, disponibilidade de água, forragem e condições climáticas. Na coleta realizada no mês de agosto de 2019 (período seco) observou-se na fazenda Três Corações que os animais apresentavam urina de coloração mais escura, fato que foi atribuído a menor disponibilidade de água. Na fazenda Panorama os animais apresentaram urina mais clara, fato atribuído a maior disponibilidade de bebedouros no sistema de pastejo rotacionado.

As fezes coletadas foram armazenadas em sacos plásticos e a urina foi armazenada em garrafas pet, em seguida o material foi lacrado com fita adesiva em caixas de isopor com gelo (Figura 20). Dessa forma, durante o transporte até a unidade de tratamento situada no município de Novo Repartimento (PA) as fezes mantiveram temperaturas que variaram de 6,2 a 7,7 °C e a urina temperaturas de 2,3 a 3,9 °C. Na unidade de tratamento foram retiradas sub-amostras de urina e fezes para análise em laboratório: duas amostras de 50 ml de urina foram misturadas a 10 ml de vinagre (4,0% de acidez) para evitar perdas de amônia, e duas amostras de 100 g fezes frescas misturadas a 20 ml de vinagre (4,0% de acidez). Em seguida o material permaneceu congelado até o momento de aplicação das excretas nas parcelas do experimento.



Figura 20. Armazenamento das excretas em caixas de isopor com gelo para o transporte.

Nas fazendas também foram realizadas coletas de amostras de solo nas áreas de pastagem. As amostras foram coletadas na profundidade de 20 cm para avaliação da fertilidade do solo (FREIRE, 2013), os resultados da análise química podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8. Análise química de amostras de solo coletadas nas fazendas Três Corações e Panorama.

Amostragem em dezembro de 2018 - Período Chuvoso								
	*C	N	Al	Ca	Mg	K	P	pH
	%	%	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	
Faz. 3 Corações	0,79	0,08	0,23	0,68	0,22	32,14	5,16	5,27
Faz. Panorama2	0,82	0,09	0,15	1,94	0,40	32,89	2,46	5,25
Amostragem em agosto de 2019 - Período seco								
	*C	N	Al	Ca	Mg	K	P	pH
	%	%	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	
Faz. 3 Corações	0,64	0,07	0,23	1,12	0,40	59,54	1,27	5,45
Faz. Panorama1	0,73	0,08	0,15	1,95	0,33	23,41	2,53	5,51
Faz. Panorama2	0,80	0,09	0,00	2,99	0,57	12,97	12,06	5,80

¹Pasto rotativo; ²Pasto rotativo + Integração Lavoura Pecuária. Metodologia: NOGUEIRA & SOUZA (2005), *teor de C pelo método Walkley-Black corrigido pelo fator 1,3, assumindo-se que contabiliza apenas 70% do C orgânico existente.

Para implantação do experimento as excretas foram descongeladas até que atingissem a temperatura ambiente. Antes de serem transportadas para a área experimental as fezes foram homogeneizadas e pesadas em uma balança digital para aplicação de 1,5 kg de fezes frescas no centro das câmaras (Figura 21A). A urina foi homogeneizada e aplicada no centro das câmaras (1,0 L por câmara) utilizando-se um copo de medida (Figura 21B).

As excretas foram aplicadas nas parcelas do experimento em dois momentos: A primeira aplicação foi realizada no dia 21/12/2018 sendo feitas 29 coletas de gases entre os dias 22/12/2018 e 07/05/2019 acompanhando as emissões durante o período chuvoso. A segunda aplicação foi realizada no dia 28/08/2019 sendo feitas de 29 coletas de gases entre os dias 29/08/2019 e 12/02/2020, acompanhado as emissões de gases na transição do período seco para o período chuvoso. Após o descongelamento do material, foram retiradas sub-amostras de fezes e urina para análise em laboratório utilizando a metodologia descrita anteriormente. As

respectivas quantidades de nitrogênio provenientes da urina e fezes adicionadas as parcelas podem ser observadas nas Tabelas 10 e 11.



Figura 21. A) Fezes depositadas no centro das câmaras (1,5 kg/câmara); B) Urina depositada no centro das câmaras (1,0 L/câmara).

Tabela 9. Teor de nitrogênio (N) da urina coletada nas fazendas Panorama e Três Corações durante o período chuvoso e período seco.

	Amostras coletadas no período chuvoso (dezembro de 2018)			
	N na urina (g/L)		Urina L/parcela	N da urina g/Parcela
	Antes do congelamento	Após o congelamento		
Faz. 3 corações	0,83	0,80	1	0,80
Faz. Panorama	1,57	1,52	1	1,52
	Amostras coletadas no período seco (agosto de 2019)			
	N na urina (g/L)		Urina L/parcela	N da urina g/Parcela
	Antes do congelamento	Após o congelamento		
Faz. 3 Corações	4,26	3,49	1	3,49
Faz. Panorama	1,09	1,03	1	1,03

SILVA et al. (2006).

Tabela 10. Matéria seca (MS) e teor de nitrogênio (N) das fezes nas fazendas Panorama e Três Corações durante o período chuvoso e período seco.

Amostras coletadas no período chuvoso (dezembro de 2018)					
	Fezes frescas kg / parcela	MS %	Fezes (N g/kg de MS) Antes do congelamento	Fezes (N g/kg de MS) Após descongelamento	N das fezes g / parcela
Faz. 3 corações	1,50	8,29	-	17,92	2,23
Faz. Panorama	1,50	10,38	-	23,78	3,70
Amostras coletadas no período seco (agosto de 2019)					
	Fezes frescas kg / parcela	MS %	Fezes (N g/kg de MS) Antes do congelamento	Fezes (N g/kg de MS) Após descongelamento	N das fezes g / parcela
Faz. 3 corações	1,50	26,98	16,10	14,70	5,95
Faz. Panorama	1,50	33,01	16,98	16,82	8,33

SILVA et al. (2006).

No período chuvoso e período seco os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos ao acaso com cinco repetições: T1 - Controle sem excreta; T2 - Urina de animais sob pastejo contínuo (1,0 L por câmara); T3 - Fezes de animais sob pastejo contínuo (1,5 kg fezes frescas por câmara); T4 - Urina de animais sob ILP (1,0 L por câmara); T5 - Fezes de animais sob ILP (1,5 kg fezes frescas por câmara). A configuração final do experimento pode ser observada na Figura 22.

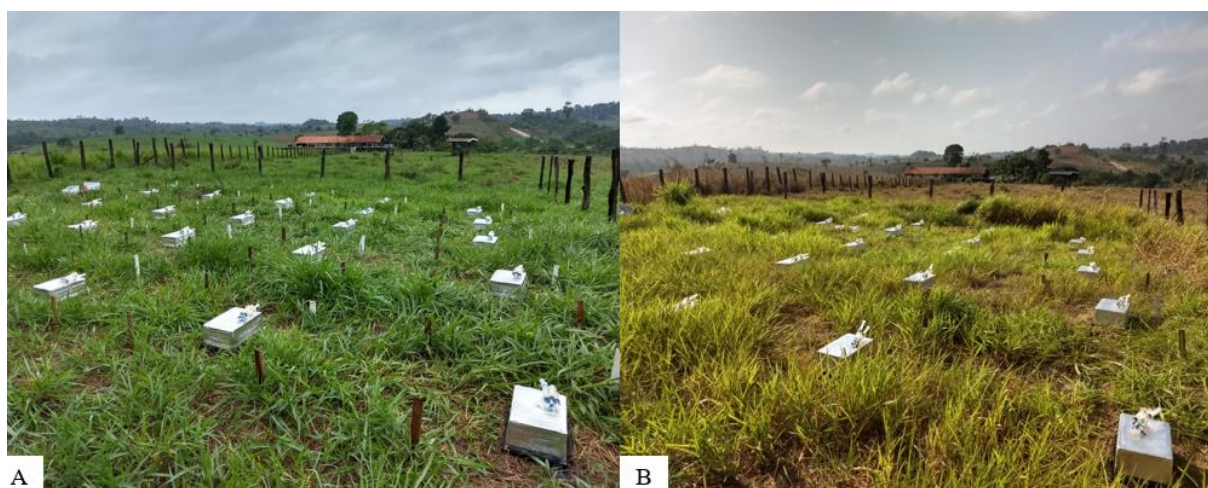


Figura 22. Experimento de campo para quantificar as emissões de GEE oriundas de fezes e urina de bois criados em sistema extensivo e em áreas de integração lavoura pecuária (ILP). A) Período chuvoso; B) Período seco.

As quantidades de excretas utilizadas nesse experimento têm sua origem no trabalho de MATTHEWS & SOLLENBERGER (1996), que estima que a produção de matéria seca de fezes corresponde a 0,5 a 1% do peso vivo de bovino por dia, sendo que um animal adulto defeca 11 a 16 vezes por dia, e cada evento produz de 1,5 a 2,7 kg de fezes frescas. Em relação a urina, o mesmo animal pode urinar de 8 a 12 vezes por dia e em cada evento produzir 1,6 a 2,2 L de urina. O N-total da urina e das fezes foi determinado pelo método de digestão Kjeldhal (SILVA et al., 2006).

A coleta de gases foi iniciada após 24 h de deposição das excretas nas parcelas, realizando-se de início coletas diárias e posteriormente aumentando-se gradativamente o intervalo entre as coletas. Na ocorrência de chuvas após longos períodos de estiagem, a coleta diária de gases foi realizada novamente. O cronograma detalhado de coleta de gases de acordo com a precipitação pluviométrica encontra-se disponível no anexo 7.2. Uma versão simplificada desse cronograma é apresentada a seguir na Figura 23, contendo a representação de 29 coletas de gases realizadas em cada fase do experimento (período chuvoso e período seco), onde a distribuição das coletas ao longo do tempo é representada pelos dias transcorridos após a deposição das excretas nas parcelas (DAE).

Período Chuvoso – Coletas realizadas no período de 22/12/2018 a 07/05/2019						
1° Col. DAE - 1	2° Col. DAE - 2	3° Col. DAE - 3	4° Col. DAE - 4	5° Col. DAE - 5	6° Col. DAE - 6	7° Col. DAE - 7
8° Col. DAE - 8	9° Col. DAE - 9	10° Col. DAE - 10	11° Col. DAE - 13	12° Col. DAE - 16	13° Col. DAE - 19	14° Col. DAE - 22
15° Col. DAE - 25	16° Col. DAE - 28	17° Col. DAE - 31	18° Col. DAE - 38	19° Col. DAE - 45	20° Col. DAE - 52	21° Col. DAE - 60
22° Col. DAE - 67	23° Col. DAE - 73	24° Col. DAE - 81	25° Col. DAE - 87	26° Col. DAE - 94	27° Col. DAE - 110	28° Col. DAE - 122
29° Col. DAE - 137						
Período seco – Amostras coletadas no período de 29/08/2019 a 12/02/2020						
1° Col. DAE - 1	2° Col. DAE - 2	3° Col. DAE - 3	4° Col. DAE - 4	5° Col. DAE - 5	6° Col. DAE - 8	7° Col. DAE - 11
8° Col. DAE - 17	9° Col. DAE - 30	10° Col. DAE - 36	11° Col. DAE - 37	12° Col. DAE - 45	13° Col. DAE - 59	14° Col. DAE - 70
15° Col. DAE - 86	16° Col. DAE - 102	17° Col. DAE - 110	18° Col. DAE - 117	19° Col. DAE - 124	20° Col. DAE - 129	21° Col. DAE - 130
22° Col. DAE - 131	23° Col. DAE - 132	24° Col. DAE - 133	25° Col. DAE - 138	26° Col. DAE - 145	27° Col. DAE - 152	28° Col. DAE - 158
29° Col. DAE - 168						

Figura 23. Distribuição das coletas de GEE nos experimentos conduzidos no período chuvoso e período seco. Em cada coleta (Col.) é indicado o número de dias transcorridos após a deposição das excretas nas parcelas (DAE).

Foram adotados os tempos de coleta de gases de 0, 20, 40 e 60 minutos em todas as repetições, contabilizando 100 amostras de gases em cada dia de coleta e totalizando 2.900 amostras de gases no período chuvoso e novamente 2.900 amostras de gases com a reaplicação das excretas do período seco. Durante as coletas a temperatura interna das câmaras foi aferida nos quatro tempos de coleta e a temperatura externa foi aferida nos tempos 0 e 60 (Figuras 24). A precipitação pluvial diária foi monitorada com pluviômetro instalado na área experimental (Figura 24).



Figura 24. Câmara estática fechada equipada com termômetro tipo espeto (A); Extração dos gases contidos no interior das câmaras utilizando seringas de 60 ml nos intervalos de 0, 20, 40 e 60 minutos (B); Pluviômetro na área experimental para acompanhamento diário da precipitação pluvial (C).

As amostragens foram realizadas na parte da manhã conforme preconizado por ALVES et al. (2012), normalmente das 08 às 09 horas. Para a coleta de gases foram utilizadas seringas de 60 mL de polipropileno. Os gases foram armazenados em vidros com vácuo (80 KPa) hermeticamente fechados, os frascos foram mantidos de cabeça para baixo com uma pequena lâmina de água junto ao septo para evitar a difusão dos gases (Figura 25) até que fossem transportados para o laboratório de ciclagem de nutrientes da Embrapa Agrobiologia em Seropédica-RJ.



Figura 25. Frascos armazenados com o septo para baixo com lâmina d'água acima do septo para evitar a difusão do gás.

Os frascos foram analisados em cromatógrafo de gás TRACE 1300 acoplado a um autoamostrador TriPlus RSH (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA), equipado com sistema back-flush e detector de captura de elétrons (ECD) para as análises de N_2O . Antes de cada bateria de análises, foram injetados padrões com concentrações conhecidas, cujos resultados integraram as curvas analíticas para os cálculos das concentrações de N_2O .

Os fluxos de N₂O foram calculados a partir da variação da concentração no tempo, assumindo-se um modelo linear, do qual obteve-se o coeficiente angular, que foi transformado em fluxo, considerando-se o tempo de incubação, a temperatura do ar durante a coleta, e as dimensões da câmara, mais especificamente o volume de ar acima do solo e a área coberta pela câmara, tal como descrito em JANTALIA et al. (2008).

Os fluxos de N₂O foram integrados ao longo do tempo de monitoramento utilizando o teorema do Newton-Coates pela regra dos retângulos para calcular as emissões de N₂O.

As emissões líquidas de N₂O derivadas das excretas foram calculadas pela diferença entre aquelas do tratamento com a excreta e do tratamento controle, sem excreta. O fator de emissão de N₂O de cada excreta foi obtido pela razão entre a emissão líquida de N₂O da excreta e a quantidade de nitrogênio na excreta (Equação 1).

$$FE = (N-N_2O \text{ total emitido da excreta} - N-N_2O \text{ total emitido pelo controle}) / \text{Total de N na excreta} \quad (1)$$

3.3 Cálculo das Emissões de CH₄ Entérico

Neste estudo os animais utilizados para a coleta de excretas foram da raça Nelore, e nas fazendas visitadas para levantamentos de informações zootécnicas essa raça também foi predominante nos rebanhos amostrados, tendo como principal fonte de alimento o pasto. Dessa forma, para a estimativa da emissão entérica de metano foi utilizada a equação empírica desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014) a partir de dados brasileiros publicados entre 2003 e 2012, onde 60% dos dados foram oriundos de bovinos em pastagem e 80% de animais da raça Nelore.

$$CH_4 \text{ (kg/d)} = -0,1011 (\pm 0,02903) + 0,02062 (\pm 0,002834) \times IMS + 0,001648 (\pm 0,000417) \times FDN \quad (2)$$

Onde:

CH₄ = emissão de metano entérico,

IMS = ingestão de matéria seca (kg/dia),

FDN = fibra em detergente neutro da dieta (%).

As estimativas de emissão de CH₄ entérico também foram realizadas a partir das equações disponibilizadas na metodologia Tier 2, item 10.3, do IPCC (2019), para fins de comparação com a equação empírica desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014) utilizando dados obtidos no Brasil.

3.4 Análise Estatística

Foram realizadas análises de regressão entre os tratamentos e as emissões acumuladas de N₂O, e análise de variância e teste de médias dos fatores de emissão. Para verificar a interação da produção desses gases com fatores ambientais e intrínsecos às fezes, foi realizada análise de regressão linear múltipla. Os fluxos de cada um dos gases foram a variável resposta, e as variáveis explicativas foram: temperatura do ar (°C), temperatura do interior da câmara (°C) e precipitação pluvial (mm).

As fazendas no estado do Pará foram agrupadas de acordo com o nível tecnológico, e as variáveis entre os grupos foram comparadas utilizando o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição dos Cenários de Produção Utilizando Levantamento de Informações em Fazendas do Estado do Pará

As informações obtidas nas fazendas do estado do Pará, foram compiladas em tabelas contendo índices zootécnicos e dados de manejo de pastagem (em anexo). Essas tabelas foram organizadas de acordo com os diferentes níveis tecnológicos observados na região, por exemplo: manejo reprodutivo com estação de monta e inseminação artificial em tempo fixo (IATF), utilização de suplementos e adubação de pastagem.

O módulo fiscal que representa uma unidade de medida instituída pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) para indicação da extensão mínima das propriedades rurais consideradas áreas produtivas economicamente viáveis (LANDAU et al., 2012), corresponde a 70 ha nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí, e 55 ha no município de Paragominas. Nos municípios percorridos constatou-se que a pecuária bovina é praticada em pequenas propriedades (com área entre um e quatro módulos fiscais), médias propriedades (com dimensão superior a quatro e até 15 módulos fiscais) e grandes propriedades (com área maior do que 15 módulos fiscais).

Observou-se nesses municípios a predominância de sistemas de criação a pasto, ocorrendo principalmente nas seguintes modalidades: fazendas com sistema de produção extensivo (pastagem contínua) sem adubação e suplementação proteico-energética; fazendas com pastagem reformada (adubação e correção da acidez do solo) com baixa oferta de suplemento proteico-energético (0,1% do peso corporal); fazendas com lotação rotacionada associada a adubação de pastagem e maior oferta de suplemento proteico-energético (0,45% do peso corporal) e por fim fazendas de grãos que realizam recria de novilho(a)s em sistema integração lavoura pecuária (ILP) em semiconfinamento. As Figuras 26 a 29 exemplificam diferentes níveis tecnológicos nos quais a pecuária é praticada no estado do Pará.



Figura 26. Sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no município de Paragominas (PA). Fotografia: Valfredo A. Chaves.



Figura 27. Lotação Rotacionada no município de Novo Repartimento (PA). Fotografia: Valfredo A. Chaves.



Figura 28. Infestação de capim-capeta [*Sporobolus indicus* (L.) R. Br.] em pastagem extensiva no município de Breu Branco (PA). Fotografia: Valfredo A. Chaves.



Figura 29. Degradação de solo em área de pastagem no município de Novo Repartimento (PA).
Fotografia: Valfredo A. Chaves.

Nas propriedades que participaram do estudo o rebanho variou de 13 a 8.765 cabeças e a área de pastagem variou de 10 a 14.400 ha. Nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Tucuruí e Pacajá as propriedades visitadas tinham a pecuária de corte como principal atividade econômica. Algumas dessas propriedades realizam ciclo completo de produção (cria, recria e engorda), havendo também propriedades se dedicam apenas a etapa de cria e outras propriedades que se dedicam principalmente a recria e engorda de machos.

A Tabela 11 apresenta a distribuição das áreas de pastagem de acordo com o sistema de pastejo, reforma de pastagem, adubação e integração da pastagem com culturas agrícolas entre pequenas, médias e grandes propriedades nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Tucuruí, Pacajá e Paragominas.

Tabela 11. Área de pastagem, níveis tecnológicos, rebanho e lotação em pequenas, médias e grandes propriedades distribuídas nos municípios de Novo Repartimento, Pacajá, Tucuruí, Breu Branco e Paragominas.

Pastagem	Pequena Propriedade	Média Propriedade	Grande Propriedade	Total
Nº de fazendas	34	35	29	98
Pastagem Extensiva (ha)	2.348	14.504,8	32.865	49.718
Reforma com fertilizantes (ha)	240	748,8	9.033	10.022
Rotacionado sem adubação (ha)	40	0	852	892
Reforma e Pastejo Rotacionado (ha)	150	278	713	1141
Integração Lavoura Pecuária (ha)	0	0	4350	4.350
Área total de pastagem (ha)	2.778	15.532	47.813	66.123
Rebanho (nº de cabeças)	4.062	20.569	55.853	80.484
Rebanho (nº de U.A)	3.308	16.647	42.996	62.951
Lotação (U.A/há)	1,2	1,1	0,9	1,0

U.A – Unidade Animal (450 kg); ha – hectare. As informações foram obtidas nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá, Tucuruí e Paragominas no estado do Pará.

De acordo com a Tabela 11 é possível observar que em relação a área total de pastagem atribuída a pequenas, médias e grandes propriedades, apenas uma menor porção dessas áreas tem recebido aplicação de corretivos e adubos. Esses insumos têm sido proporcionalmente mais aplicados em áreas de pastagem de grandes propriedades: Pequena propriedade (14%); Média propriedade (7%); Grande propriedade (29%). Os gêneros de forrageiras mais comuns nos municípios percorridos são *Brachiaria* e *Panicum*, com destaque para os capins Braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú) e Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) que juntos representam 81% dos 66.123 ha de pastagem das propriedades que compõem o estudo (Figura 30).

Em geral a maior parte dos produtores entrevistados realiza formação de pastagem com uma única espécie forrageira, entretanto, 28% dos produtores têm a mistura de diferentes espécies forrageiras no mesmo pasto como prática comum, o que segundo DIAS-FILHO (2012) dificulta práticas de manejo pastagem. O principal método de controle de plantas invasoras na pastagem é a utilização de herbicidas, relatado por 58% dos produtores. Esse método pode ser associado ao roço manual e mecanizado.

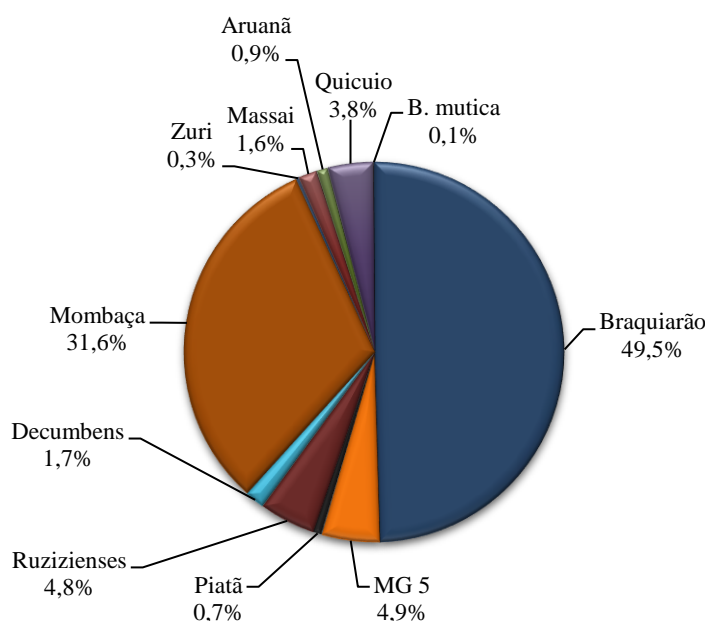


Figura 30. Distribuição de espécies forrageiras na área total de pastagem de 98 fazendas no estado do Pará. Braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú), MG5 (*Brachiaria brizantha* cv. MG5), Piatã (*Brachiaria brizantha* BRS Piatã), Ruzizienses (*Brachiaria Ruzizienses*), Decumbens (*Brachiaria decumbens*), Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça), Zuri (*Panicum maximum* cv. BRS Zuri), Massai (*Panicum maximum* cv. Massai), Aruanã (*Panicum maximum* cv. Aruanã), Quicuiu (*Brachiaria humidicola*), B. mutica (*Brachiaria mutica*).

Nos municípios visitados, uma grande propriedade nem sempre significa maior aporte tecnológico no sistema. Muitas destas, operam em nível extensivo, com manejo inadequado da pastagem e baixos índices de produtividade. De acordo com DIAS-FILHO (2014), na pecuária bovina de corte é possível produzir, embora com muito baixo rendimento, de modo predominantemente extensivo. Contudo, essa situação cria uma resiliência para que a pecuária seja conduzida como uma atividade econômica de caráter empresarial, com administração

eficiente e racional, fazendo com que as áreas de produção sejam utilizadas abaixo de seu potencial (DIAS-FILHO, 2017).

Em pequenas propriedades situações similares também podem ser observadas, com o agravamento de que esses produtores geralmente têm pouca escolaridade, e, portanto, maior dificuldade de acesso à informação. Em geral esses produtores não possuem o capital necessário para investir em melhorias no sistema de produção e tem dificuldades de organizarem-se em cooperativas e associações para implantar na propriedade tecnologias que demandam a aquisição de insumos de custo elevado. Dessa forma, os pequenos produtores se tornam dependentes de iniciativas do poder público local que cede tratores e implementos para a mecanização das terras e disponibiliza veículos para transporte de insumos reduzindo o valor do frete. Em geral essas iniciativas são incipientes e não contemplam a maior parte dos produtores.

De acordo com VALE & ANDRADE (2012) o desmatamento na região amazônica tem sido praticado principalmente por produtores menores e menos consolidados, principalmente nos municípios que constituem as novas fronteiras agropecuárias. Dessa forma, ainda que esses produtores não sejam os únicos a praticarem o desmatamento, a situação econômica destes, favorece práticas como o uso do fogo para a limpeza das pastagens. Além dos prejuízos a pastagem e ao solo (ZANINE et al., 2005; JACQUES, 2003; COSTA et al., 2011), essa prática põe em risco também as APPs, áreas de floresta virgem e propriedades vizinhas.

Nas últimas décadas a pecuária tem avançado constantemente no Sul e Sudeste do Pará (DIAS-FILHO e ANDRADE, 2006; IBGE, 2016, 2020a; ABIEC, 2020). De acordo com os produtores entrevistados, inicialmente o baixo valor de aquisição das terras foi o principal fator que atraiu agricultores e pecuaristas de outros estados para o Pará. As limitações de infraestrutura para o exercício de outras atividades econômicas na região e a constatação de que o clima favorecia a manutenção da pastagem ao longo do ano, ajudaram a consolidar a pecuária como atividade mais viável nesses municípios. Posteriormente, o maior acesso a linhas de crédito como Pronaf e Pronamp entre no final da década de 90 e início dos anos 2000 impulsionaram ainda mais a pecuária nessa região. Como exemplo, entre os anos de 1999 e 2019 o crescimento do rebanho bovino nos municípios de Novo Repartimento e Pacajá foi de 786% e 601,69% respectivamente (ABIEC, 2020).

Os entrevistados também enfatizaram a importância das condições naturais da região, especialmente a temperatura, volume e distribuição das chuvas para o sucesso da pecuária. De acordo com DIAS-FILHO & ANDRANDE (2006), as condições climáticas do Trópico Úmido, com temperaturas praticamente uniformes ao longo do ano e períodos secos relativamente menos severos e extensos do que em outras regiões do País, permitem que a pastagem seja a base alimentar da pecuária de corte durante o ano todo, tornando possível a produção do “boi verde”, forte componente para a conquista de mercados mais exigentes.

O principal ganho de qualidade na pecuária regional segundo os produtores, foi o melhoramento genético dos animais. A exemplo das Fazendas Arataú em Novo Repartimento, Fazenda Sabiá Dourado em Pacajá e Fazenda Vale do Caripé em Tucuruí, algumas propriedades da região especializaram-se na produção e comercialização touros e matrizes Nelore P.O (puros de origem).

Nos últimos anos se tornou comum a realização de leilões e eventos nesses municípios, que contribuíram para a difusão de animais P.O, resultando em um processo de melhoramento genético dos rebanhos da região. De acordo com EUCLIDES (2001), a otimização da produção será obtida quando a maximização da produção forrageira for utilizada por animais de maior potencial produtivo.

O melhoramento genético do rebanho bovino no sudeste do Pará associado a necessidade de tornar as áreas de pastagens mais produtivas devido a pressões ambientais, tem incentivado produtores da região a iniciar investimentos em suplementação, adubação e manejo

de pastagem.

Há na região propriedades que operam em nível extensivo, propriedades que realizam adubação de pastagem, propriedades que realizam suplementação dos animais principalmente com mistura múltipla mineral (MMM) e propriedades que conjugam práticas de adubação de pastagem e suplementação dos animais. Também foi verificado que há propriedades que realizam integração lavoura pecuária (ILP), contudo, dentre os municípios estudados, essas propriedades situam-se predominantemente no município de Paragominas, que reúne condições de clima, solo e relevo que favorecem a produção de grãos. A seguir a Figura 31 apresenta a distribuição das áreas de pastagem (Figura 31A) e rebanho (Figura 31B) das propriedades de acordo com os níveis tecnológicos: extensivo, adubação de pastagem, suplementação dos animais, Adubação de pastagem + suplementação dos animais e integração lavoura pecuária (ILP).

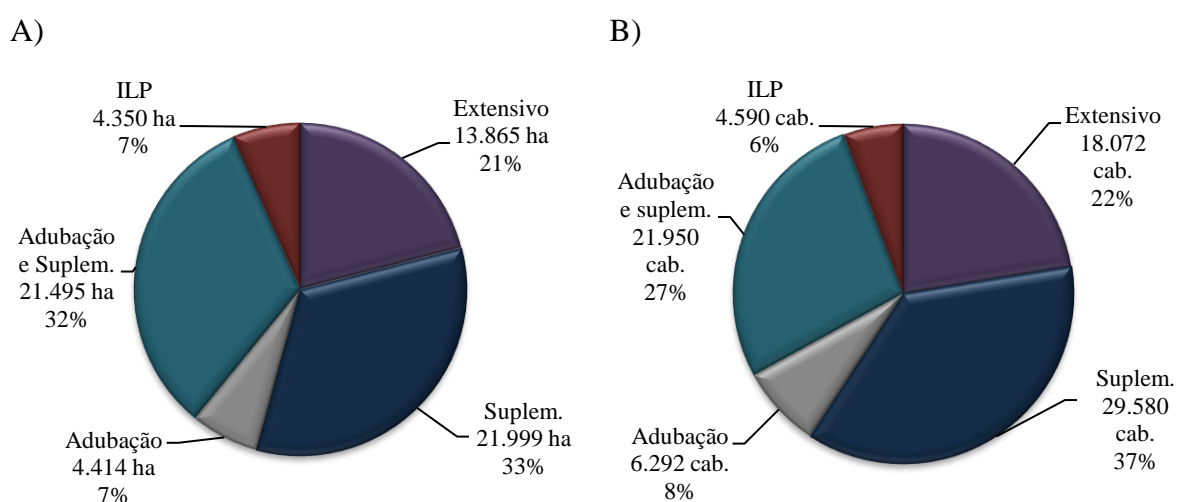


Figura 31. Distribuição da área de Pastagem em ha (A) e rebanho bovino em n° de cabeças (B) entre os níveis tecnológicos extensivo, suplementação dos animais com mistura múltipla mineral (Suplem.), Adubação de pastagem (adubação), junção da adubação de pastagem com a suplementação dos animais com mistura múltipla mineral (adubação e suplem.) e integração lavoura pecuária (ILP).

Dentre as propriedades estudadas, os sistemas ILP e adubação de pastagem foram os que abrangeram uma menor área de pastagem e conseqüentemente um menor rebanho, os demais sistemas responderam em conjunto por mais de 80% da área de pastagem e do rebanho em estudo (Figura 31). No anexo 7.3 constam Tabelas auxiliares com maior detalhamento dos índices zootécnicos coletados nas fazendas pertencentes aos municípios de Novo Repartimento, Pacajá, Breu Branco, Tucuruí e Paragominas.

As propriedades visitadas no município de Paragominas no ano de 2018 tinham como principal atividade econômica a produção de grãos de milho e soja. Ao todo foram visitadas 10 propriedades, utilizando-se ao final as informações de nove fazendas que realizam integração com pecuária de corte, optando-se em não utilizar as informações da Fazenda Diana que atua com pecuária leiteira.

Conforme visto na revisão de literatura (item 2.1), este município encontra-se situado em uma porção do Pará onde predominam baixas declividades associadas a ocorrência de Latossolos Amarelos (FURTADO & PONTE, 2013; EMBRAPA, 2016). O município destaca-se pela agricultura, em particular a produção de grãos, ocorrendo também a prática de integração lavoura-pecuária (ILP), que é pouco explorada em municípios da região Sudeste do estado

especialmente pelas condições de solo, topografia e infraestrutura.

As áreas de ILP entre as fazendas variaram de 60 a 4.800 ha. A principal forrageira utilizada nos sistemas de integração foi a *Brachiaria ruziziensis*. A distribuição das sementes da forrageira é realizada normalmente durante a colheita da soja ou imediatamente após a colheita, que tende a ocorrer entre os meses de abril e maio. Em fazendas que possuem pivô central é possível realizar safrinha de milho após a soja, distribuindo-se as sementes do milho e capim na mesma operação agrícola.

O semiconfinamento é realizado entre os meses de julho a novembro, onde principalmente são adquiridas novilhas com peso médio de 270 kg. Essas novilhas são mantidas na pastagem formada após a colheita de grãos, sendo suplementadas com ração a base de milho e soja até atingirem peso médio de 400-410 kg, a partir do qual são vendidas. A Tabela 12 apresenta um resumo das informações referentes ao semiconfinamento de novilhas realizado em áreas de ILP no município de Paragominas (PA).

Tabela 12. Média e erro padrão da média de índices de recria e engorda de fêmeas Nelore obtidos em seis fazendas que atuam com integração lavoura pecuária em Paragominas (PA).

Índices Zootécnicos	Média	1Erro padrão
Dose do suplemento (kg/cab/dia)	1,59	0,36
Peso inicial no semiconfinamento (kg)	270,83	18,00
Peso final no semiconfinamento (kg)	408,33	3,07
Duração do Semiconfinamento (meses)	4,67	0,42
GMD informado pelo produtor (kg/dia)	0,80	0,10
GMD Calculado (kg/dia)	0,93	0,09
Rendimento de Carcaça (%)	52,00	-

GMD = Ganho médio diário; cab. = cabeça. $1Sx = s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra.

Conforme relatado nas fazendas Capelari e Elizabete, há situações em que o gado não é inserido no sistema, ocorrendo apenas o plantio da forrageira após as culturas agrícolas. Essa prática é adotada devido aos benefícios proporcionados pelas gramíneas forrageiras em relação a proteção do solo, que tem sido constatado por produtores da região. Como o plantio da forrageira é realizado simultaneamente a colheita da soja ou plantio do milho, não se constitui em prática onerosa para o produtor, que arcando apenas com o valor da semente consegue manter o solo coberto até a implantação da próxima cultura agrícola.

A adoção dessa prática é um reflexo dos benefícios relatados na literatura acerca da capacidade da pastagem de proteger o solo contra erosão, promover manutenção e/ou aumento do teor de matéria orgânica, melhorar atributos físicos e químicos do solo e contribuir para a infiltração e armazenamento da água (VILELA et al., 2001; VILELA et al., 2011; BALBINO et al., 2019), que tendem a favorecer a cultura seguinte em sistemas ILP.

A seguir são apresentadas as Tabelas 13 e 14 que sintetizam informações sobre os insumos, operações agrícolas e produtividade das culturas de soja e milho no município de Paragominas. As informações disponibilizadas nas Tabelas foram obtidas nas entrevistas com produtores do município e nos trabalhos de ALVES et al. (2014) e FERNANDES et al. (2008). Essas informações foram utilizadas para estimativa do consumo de suplementos pelos animais nos cenários de produção propostos e para o cálculo das emissões de GEE considerando o uso de fertilizantes, combustíveis fósseis, defensivos agrícolas e sementes nos sistemas.

Tabela 13. Produtividade e aplicação de insumos por hectare nos cultivos de soja e milho em integração com forragem obtidos em nove fazendas que atuam com integração lavoura pecuária (ILP) e trabalhos técnicos no município de Paragominas (PA).

Descrição	unid.	Média	¹ Erro padrão
Soja - Produtividade	sacas	59,17	3,60
Soja - Produtividade	kg	3.550,00	215,99
Soja - Calagem	Ton	2,77	0,56
Soja - Adubação N	kg	21,39	1,57
Soja - Adubação P	kg	108,39	6,57
Soja - Adubação K	kg	82,86	3,32
*Herbicida	L	6,50	-
*Inseticida	L	1,00	-
*Fungicida	L	1,50	-
*Plantio	h/m	1,30	-
*Aplicação de insumos	h/m	1,00	-
*Colheita	h/m	1,00	-
Milho - Produtividade	sacas	108,17	10,00
Milho - Produtividade	kg	6.490,00	600,08
Milho - Calagem	Ton	2,41	0,64
Milho - Adubação N	kg	102,47	22,78
Milho - Adubação P	kg	111,17	10,67
Milho - Adubação K	kg	85,17	20,98
*Herbicida	L	7,00	-
*Inseticida	L	0,50	-
*Fungicida	L	-	-
*Plantio	h/m	1,00	-
*Aplicação de insumos	h/m	1,00	-
*Colheita	h/m	1,00	-

N = Nitrogênio; K = Potássio; P = Fósforo; h/m = hora máquina; * obtidos nos trabalhos de ALVES et al. (2014) e FERNANDES et al. (2008). ¹ $Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra.

Tabela 14. Operações agrícolas que compõe o sistema soja-milho-forragem no município de Paragominas (PA). Informações obtidas em 10 fazendas do município.

Integração soja-forragem	Nº de operações
Dessecação do capim	1
Aplicação do Calcário	1
plantio e Adubação de base	1
Aplicação de Fungicida + Inseticida	3
Dessecação da soja	1
Colheita + distribuição da semente do capim	1

Continua...

Continuação da Tabela 14.

Integração milho-forragem	Nº de operações
Dessecação do capim	1
Aplicação do Calcário	1
plantio do milho e Capim + Adubação de base	1
Adubação de Cobertura	1
Aplicação de Herbicida seletivo em sub-dose	1
Aplicação de Inseticida c/ ou s/ fungicida	2
Colheita	1
Integração soja-milho-forragem	Nº de operações
Dessecação do capim	1
Aplicação do Calcário	1
plantio da soja e Adubação de base	1
Aplicação de Fungicida + Inseticida	3
Dessecação da soja	1
Colheita da soja + distribuição da semente do milho e capim	1
Adubação de Cobertura no milho	1
Aplicação de Herbicida seletivo em sub-dose no milho	1
Aplicação de Inseticida c/ ou s/ fungicida no milho	2
Colheita do milho	1

No município de Paragominas um outro uso econômico da pastagem formada após a lavoura foi observado na fazenda Guarani Cereais. Nesta fazenda após a colheita da soja no mês de abril de 2018, a semente do capim Mombaça foi distribuída em uma área de 400 ha e incorporada com grade niveladora. O objetivo desse plantio foi a produção de feno para a alimentação de um rebanho de cria em uma fazenda da região, podendo também ser comercializado em portos para alimentação de animais transportados em navios, ao custo de R\$ 700,00 Mg⁻¹ de feno. A colheita do capim foi iniciada entre os meses de julho e agosto com produtividade de 6 Mg ha⁻¹ e teor de matéria seca de 88%. Estimativas da fazenda indicaram que, em 2018, de cada 6 Mg de feno produzido, 1 Mg de feno foi utilizado para cobrir os custos de produção.

As novilhas adquiridas pelos produtores de Paragominas para semiconfinamento em sistema ILP são obtidas em sua maioria de municípios da região Sudeste do Pará. Dessa forma, a integração lavoura-pecuária que ocorre em Paragominas pode ser compreendida como um sistema complementar a pecuária de cria praticada em outros municípios. Em geral, a maior parte do rebanho bovino do estado do Pará encontra-se em áreas onde há maior limitação para integração lavoura-pecuária (SEDAP, 2020; EMBRAPA, 2016; FAPESPA, 2017). Assim, fica claro que parte desse rebanho poderia ser absorvido em sistemas ILP em outras regiões do Estado, com redução do ciclo de produção dos animais, renda extra aos agricultores e benefícios adicionais a produção agrícola.

Políticas públicas locais que concedessem os devidos incentivos a essa atividade que já ocorre de modo orgânico no estado, poderiam modificar consideravelmente o patamar da produção de bovinos no Pará.

Ao fim do levantamento de dados realizado nas fazendas, as informações referentes a operações mecanizadas, aplicação de corretivos e adubos, produtividade das culturas agrícolas, manejo alimentar, manejo reprodutivo e demais índices zootécnicos, auxiliaram na elaboração de um quadro simplificado contendo os cenários de produção que se tornaram mais evidentes

após a avaliação de toda a informação coletada (Quadro 1). A partir dos cenários apresentados no Quadro 1 foram realizadas estimativas das emissões de metano entérico, emissões de N₂O das excretas e emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) dos insumos e operações agrícolas que compõem os cenários de produção.

Foram identificadas três principais situações que podem representar as condições em que a pecuária de corte é praticada nessa região:

Cenário 1: Produção extensiva e rústica com rebanho não especializado para corte e uso do fogo para renovação e limpeza de pastagem.

Cenário 2: Propriedades em etapas iniciais para melhoria do sistema, iniciando processos de reforma da pastagem a cada 10 anos com baixa utilização de insumos, baixa oferta de suplementos aos animais (0,1% PV) e início do melhoramento genético do rebanho.

Cenário 3: Propriedade com nível tecnológico mais avançado, reforma da pastagem a cada 8 anos com maior uso de fertilizantes, áreas destinadas a integração lavoura pecuária (ILP), maior oferta de suplementos aos animais (0,45% PV), rebanho com genética e índices zootécnicos acima da média da região, porém com potencial para melhoria dos índices.

A delimitação dos cenários tecnológicos predominantes na região é apresentada a seguir no Quadro 1.

Quadro 1. Cenários tecnológicos de produção predominantes no Sudeste do Pará.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Sistema de Pastejo	Pastejo contínuo	Pastejo contínuo	Pastejo Rotativo associado a ILP
¹ Reforma de Pastagem	Não Faz reforma	A cada 10 anos com calcário (1,5 Mg/ha) e P ₂ O ₅ (90 kg/ha).	A cada 8 anos com calcário (3,0 Mg/ha), P ₂ O ₅ (140 kg/ha), K ₂ O (130 kg/ha) e N (100 kg/ha).
Limpeza de pastagem	Queima anual de 10% da área.	Aplicação anual de herbicida em 10% da área.	Aplicação anual de herbicida em 7% da área.
Lotação (U.A ha ⁻¹)	0,83	1,0	1,7
Suplementação	Sal mineral	Terminação: Mistura múltipla mineral (0,1% do P.V). Demais categorias: Sal mineral.	Terminação: Mistura múltipla mineral (0,45% do P.V). Demais categorias: Sal mineral.
Rebanho	Nelore x SRD	Nelore em processo melhoramento genético com inserção de touros P.O.	Nelore com genética acima da média da região.
Reprodução	Monta natural sem estação de monta.	Monta natural sem estação de monta.	Estação de monta com IATF e monta natural de repasse com touros P.O.
Relação touro / fêmea	1:30	1:30	1:30
² Taxa de Natalidade (%)	65	75	85
³ Mortalidade a desmama (%)	6	4	2
³ Mortalidade pós-desmama (%)	2	1	1
³ Taxa de descarte de vacas	15	15	12,5
Idade a desmama (meses)	8	8	8
Peso a desmama (kg)	Fêmeas (170); Machos (180).	Fêmeas (200); Machos (210).	Fêmeas (220); Machos (230).
Idade ao abate (meses)	36	33	30
Peso ao abate (kg)	Fêmeas (380); Machos (490).	Fêmeas (400); Machos (520).	Fêmeas (420); Machos (540).
Rendimento de carcaça (%)	Fêmeas (48); Machos (50).	Fêmeas (50); Machos (51).	Fêmeas (50); Machos (52).

¹Definido a partir das entrevistas com produtores e do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCTI, 2020); ²Definido em conjunto com veterinários da região. ³Definido a partir das entrevistas com produtores, veterinários e dos trabalhos de DIAS-FILHO (2010, 2014), OLIVEIRA et al. (2006) e CARDOSO (2012).

4.2 Delimitação das Categorias Animais e Estimativa do Consumo de Forragem, Suplemento e Água

As categorias animais e os seus respectivos pesos são apresentados por cenários na Tabela 15. As delimitações foram obtidas com base nas entrevistas realizadas nas fazendas.

Tabela 15. Peso de entrada e saída de cada categoria animal nos cenários 1, 2 e 3.

Categoria	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Peso de entrada (kg)	Peso de saída (kg)	Peso de entrada (kg)	Peso de saída (kg)	Peso de entrada (kg)	Peso de saída (kg)
Touros	650	650	650	650	650	650
Vacas	430	430	450	450	470	470
Bezerras	30	170	32	200	35	220
Bezerros	30	180	32	210	35	230
Novilha	170	240	200	270	220	300
Novilho	180	275	210	305	230	330
Fêmeas quase adultas	240	310	270	340	300	380
Machos quase adultos	275	370	305	400	330	430
Fêmeas em terminação	310	380	340	400	380	420
Machos em terminação	370	490	400	520	420	540

Observou-se nas fazendas que o desmame de machos e fêmeas costuma ser realizado por volta dos 8 meses de idade. Contudo, o peso e a idade de abate (Quadro 1) são diferentes entre os cenários em virtude das práticas de manejo e genética dos animais.

O consumo de forragem em cada cenário foi estimado conforme informações da literatura considerando a massa seca (MS) de forragem e o peso vivo (PV) dos animais. A literatura sugere um consumo médio de MS de forragem de 1,5 a 2,7% do PV conforme a espécie forrageira, qualidade da forragem, oferta de suplementos, categoria animal, clima e época do ano (OLIVEIRA, 2006; MARTHA JÚNIOR et al., 2003; DIAS-FILHO, 2012; NICODEMO 2001; SENAR, 2018). A suplementação de animais a pasto pode ocorrer em diversos níveis de oferta de suplemento, sendo comum a suplementação de até 1% do PV (NICODEMO, 2001; SENAR, 2018; NOGUEIRA et al., 2015).

Com base no levantamento realizado nas fazendas do Pará e em exemplos de formulações de mistura múltipla mineral (MMM) utilizadas nessas fazendas, observou-se que nas fazendas do cenário 1 os animais são alimentados a pasto com oferta de mistura mineral, sem ofertas adicionais de suplemento. O cenário 2 passa a ser constituído de fazendas que além da alimentação a pasto e oferta de mistura mineral, estão iniciando a atividade de suplementação com mistura múltipla mineral a 0,1% do PV com 46,5% de PB e 75% de NDT. Nas fazendas do cenário 3 (maior nível tecnológico), além da oferta de mistura mineral e pasto de melhor qualidade, estas fazendas tendem a suplementar os animais em terminação a pasto com misturas múltiplas ofertadas a 0,45% do PV, com 49% de PB e 75% de NDT.

De acordo com as informações obtidas nas fazendas durante a pesquisa de campo e levantamento bibliográfico foi estabelecido a seguinte correlação entre consumo de forragem e suplemento atribuídos aos cenários 1, 2 e 3 (Tabela 16).

Tabela 16. Correlação entre consumo de forragem e suplementação com mistura múltipla mineral nos cenários de produção.

	Suplementação (%PV)	Consumo de forragem (%PV)	
		Período seco	Período das águas
Cenário 1	0	1,71	2,23
Cenário 2	0,1	1,71	2,23
Cenário 3	0,45	1,53	1,94

PV: peso vivo. Adaptação: SENAR (2018).

Conforme a Tabela 16, para as fazendas que estão iniciando atividade de suplementação a 0,1% PV (cenário 2) não foi atribuído efeito substitutivo no consumo de forragem, por considerar-se que pequenas quantidades de suplemento (< 0,2% do peso vivo) em geral podem ser somadas ao consumo de forragem, ocorrendo o efeito de substituição apenas quando maior quantidade de concentrado é fornecida (0,3 a 1,0% do peso vivo), (NICODEMU, 2001; THIAGO, 1999). Para as matrizes do rebanho considerando que as exigências de vacas em lactação seriam maiores do que das fêmeas não lactantes, pois além da produção leiteira que consome energia, a condição de lactante faz com que estes animais produzam por volta de 30% mais calor do que fêmeas que não estejam lactantes (POSSAMAI et al., 2014; PAULINO et al., 2010), foi adotado um consumo médio anual de forragem de 2,23 % do PV, considerado como valor intermediário a partir das estimativas apresentadas por COSTA e SILVA et al. (2016).

O consumo de matéria seca por bezerros de até 90 dias de idade é representado em 77% pela MS do leite e dos 90 aos 180 dias de vida o leite representa apenas 43% na ingestão total de matéria seca. Assim, à medida que o animal cresce e ganha peso, os requerimentos de energia e proteína aumentam e as exigências nutricionais superam os nutrientes fornecidos pelo leite (POSSAMAI et al., 2014; FONSECA, 2009). Dessa forma, o consumo de forragem para esta categoria foi estimado pela equação $CMSvc = 0,353 - 0,532 \times CMSleite + 0,01065 \times PC + 0,3497 \times GMD$ (COSTA e SILVA, 2015), onde $CMSvc$ = consumo de matéria seca de volumoso e concentrado (kg/dia), $CMSleite$ = consumo de matéria seca do leite (kg/dia), PC = Peso Corporal (kg), GMD = ganho médio diário (kg/dia). Para o volume de leite ingerido foi considerado um teor médio de sólidos totais de 15% e teor de proteína de 3,75%, como valor intermediário entre o início da lactação (3,6%) e aos sete meses de lactação (3,9%) (COSTA e SILVA et al., 2015). Para as demais categorias foi considerado o consumo de forragem e suplemento de acordo com a Tabela 16.

Além da estimativa do consumo de forragem pelos animais apresentada anteriormente, também foi realizado um levantamento bibliográfico para adequar os parâmetros nutricionais da forragem consumida nos diferentes cenários. Levou-se em consideração o manejo da fertilidade do solo nos diferentes sistemas de produção de acordo com as entrevistas realizadas nas fazendas. Dessa forma, no cenário 1 não há aplicação de corretivos e fertilizantes, no cenário 2 ocorre reforma de pastagem em intervalos de 10 anos com aplicação de 1,5 Mg de calcário dolomítico ha^{-1} e 90 kg de P_2O_5 ha^{-1} e no cenário 3 ocorre reforma da pastagem a cada 8 anos com a aplicação de 3,0 Mg de calcário dolomítico ha^{-1} , 140 kg de P_2O_5 ha^{-1} , 130 kg de K_2O ha^{-1} e 100 kg de N ha^{-1} e os animais são mantidos em lotação rotacionada.

Foi realizado uma síntese de estudos conduzidos em pastagens de *Brachiaria brizantha* com ou sem aplicação de fertilizantes, delimitando-se diferenças entre parâmetros nutricionais relacionados a melhoria da fertilidade do solo, especialmente em relação a disponibilidade de nitrogênio para as forrageiras. Os parâmetros nutricionais estimados para os cenários são apresentados a seguir na Tabela 17 e serão utilizados mais adiante nas estimativas de emissão de N_2O das excretas e CH_4 entérico.

Tabela 17. Estimativa dos teores médios anuais de digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), nutrientes digestíveis totais (NDT) e proteína bruta (PB) de cultivares de *Brachiaria brizantha* para os cenários tecnológicos.

	DIVMS %	FDA %	FDN %	NDT %	PB %
Cenário 1	51	37	70	60	8
Cenário 2	52	36	69	61	8,5
Cenário 3	55	35	66	62	10

Fontes consultadas: COSTA et al. (2001), CAMARÃO et al. (2002), FERREIRA et al. (2012), GONÇALVES et al. (1997), BARNABÉ et al. (2007), BENETTI et al. (2008), CECATO et al. (2004), COSTA et al. (2005), COSTA et al. (2007), MARANHÃO et al. (2009), MEDEIROS et al. (2011), QUEIROZ et al. (2011), SANTOS et al. (2008), SILVA et al. (2016), REZENDE et al. (2008), EUCLIDES et al. (2009), EUCLIDES et al. (2014), CAMARÃO & SOUZA FILHO (2005), CRISPIM & BRANCO (2002), MEIRELLES & MOCHIUTTI (2009).

O consumo médio de forragem e suplementos de cada categoria animal nos cenários de produção é apresentado a seguir nas Tabelas 18 a 20, e serão utilizados para a estimativa de ingestão e excreção de N (Item 4.3) e emissão de CH₄ entérico (Item 4.5).

Tabela 18. Ingestão diária por animal de mistura múltipla mineral (MMM) e massa seca de forragem (MSF) no cenário 1 a partir dos níveis de consumo de suplemento e forragem apresentados na Tabela 16.

Categoria	Peso médio dos animais (kg)	Consumo de MMM (kg/cab/dia)	*Consumo médio de MSF (kg/cab/dia)
Vacas	430	-	9,59
Bezerras	100	-	1,14
Bezerros	105	-	1,21
Novilha	205	-	4,13
Novilho	227,5	-	4,58
Fêmeas quase adultas	275	-	5,54
Machos quase adultos	322,5	-	6,49
Fêmeas em terminação	345	-	6,95
Machos em terminação	430	-	8,66
Touros	650	-	13,09

cab = cabeça. *Foi considerado consumo médio de massa seca de forragem entre o período seco e período das águas apresentado na Tabela 16.

Tabela 19. Ingestão diária por animal de mistura múltipla mineral (MMM) e massa seca de forragem (MSF) no cenário 2 a partir dos níveis de consumo de suplemento e forragem apresentados na Tabela 16.

Categoria	Peso médio dos animais (kg)	Consumo de MMM (kg/cab/dia)	*Consumo médio de MSF (kg/cab/dia)
Vacas	450	-	10,04
Bezerras	116	-	1,31
Bezerros	121	-	1,38

Continua...

Continuação da **Tabela 19.**

Categoria	Peso médio dos animais (kg)	Consumo de MMM (kg/cab/dia)	*Consumo médio de MSF (kg/cab/dia)
Novilha	235	-	4,73
Novilho	257,5	-	5,18
Fêmeas quase adultas	305	-	6,14
Machos quase adultos	352,5	-	7,10
Fêmeas em terminação	370	0,37	7,45
Machos em terminação	460	0,46	9,26
Touros	650	-	13,09

cab = cabeça. *Foi considerado consumo médio de massa seca de forragem entre o período seco e período das águas apresentado na Tabela 16.

Tabela 20. Ingestão diária por animal de mistura múltipla mineral (MMM) e massa seca de forragem (MSF) no cenário 3 a partir dos níveis de consumo de suplemento e forragem apresentados na Tabela 16.

Categoria	Peso médio dos animais (kg)	Consumo de MMM (kg/cab/dia)	*Consumo médio de MSF (kg/cab/dia)
Vacas	450	-	10,48
Bezerras	127,5	-	1,38
Bezerros	132,5	-	1,45
Novilha	260	-	5,23
Novilho	280	-	5,64
Fêmeas quase adultas	340	-	6,85
Machos quase adultos	380	-	7,65
Fêmeas em terminação	400	1,8	7,08
Machos em terminação	480	2,16	8,49
Touros	650	-	13,09

cab = cabeça. *Foi considerado consumo médio de massa seca de forragem entre o período seco e período das águas apresentado na Tabela 16.

4.3 Ingestão e Excreção de Nitrogênio

A ingestão de N nos diferentes cenários (Tabela 21) foi estimada considerando o consumo de forragem e suplementos nas Tabelas 18, 19 e 20. O nitrogênio da forragem foi estimado a partir do teor de proteína bruta da forragem atribuído a cada cenário na Tabela 17. Também foram considerados o consumo de suplementos nos cenários 2 (0,1% do PV com 46,5% de PB e 75% de NDT) e cenário 3 (0,45% do PV, com 49% de PB e 75% de NDT) para estimativa de ingestão de N dos animais adultos em terminação a pasto.

Tabela 21. Ingestão diária de nitrogênio (N) por animal a partir do consumo de forragem e mistura múltipla mineral nos cenários 1, 2 e 3.

Categorias	Ingestão de N g/animal/dia		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Vacas	122,7	136,5	167,7
Bezerras	14,6	17,9	22,1
Bezerros	15,5	18,8	23,2

Continua...

Continuação da Tabela 21.

Categorias	Ingestão de N g/animal/dia		
	Cenário 1	Cenário 1	Cenário 1
Novilha	52,8	64,3	83,8
Novilho	58,6	70,5	90,2
Fêmeas quase adultas	70,9	83,5	109,5
Machos quase adultos	83,1	96,5	122,4
Fêmeas adultas em terminação	88,9	128,9	254,5
Machos adultos em terminação	110,8	160,2	305,4
Touros	167,5	178,0	209,4

A excreção de N nos diferentes cenários foi estimada a partir dos valores de ingestão de N na Tabela 21. Foram utilizados modelos matemáticos que particionam a excreção do N nas fezes e urina (WALDRIP et al., 2013; DONG et al., 2014; PRADOS et al., 2016). As estimativas de excreção de N são apresentadas a seguir nas Tabelas 22, 23 e 24.

Tabela 22. Estimativa da excreção diária de nitrogênio Fecal e Urinário por animal nos cenários 1, 2 e 3 utilizando os dados da Tabela 21 e as equações elaboradas por WALDRIP et al. (2013).

Categorias	Excreção de nitrogênio: g / animal / dia					
	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Urina	Fezes	Urina	Fezes	Urina	Fezes
Vacas	47,55	42,69	55,25	44,75	72,73	49,43
Bezerras	-12,99	26,47	-11,17	26,96	-8,80	27,60
Bezerros	-12,50	26,61	-10,65	27,10	-8,19	27,76
Novilha	8,40	32,20	14,85	33,93	25,72	36,84
Novilho	11,65	33,07	18,30	34,86	29,33	37,81
Fêmeas quase adultas	18,51	34,91	25,59	36,81	40,15	40,71
Machos quase adultos	25,36	36,75	32,87	38,76	47,37	42,64
Fêmeas em terminação	28,61	37,62	50,99	43,61	121,35	62,46
Machos em terminação	40,88	40,90	68,55	48,31	149,86	70,09
Touros	72,63	49,41	78,49	50,98	96,08	55,69

Equações utilizadas: Excreção de N via urina (g/dia) = $-21,18 + 0,56 \times \text{CN}$; Excreção de N via fezes (g/dia) = $24,28 + 0,15 \times \text{CN}$; onde CN = consumo de nitrogênio (g/animal/dia). Fonte: WALDRIP et al. (2013).

Os modelos de predição de excreção de N propostos por WALDRIP et al. (2013) (Tabela 22) subestimaram a excreção de N nas categorias mais jovens como bezerro(a)s e novilho(a)s, especialmente para a excreção de N na urina que apresentou valores negativos ou muito baixos nos cenários testados. Os modelos de excreção de WALDRIP et al. (2013) foram concebidos de um banco de dados utilizando um total de 47 dietas e 255 animais a partir de estudos conduzidos predominantemente nos EUA. Nos animais utilizados no estudo, o peso variou de 237 a 632 kg. Em geral, as dietas continham aproximadamente 80% de concentrado e 8 a 16% de volumoso na forma de feno ou silagem, com adição de farelo de algodão, farelo de soja e/ou ureia como fonte proteica. O teor de proteína bruta das dietas variou de 7 a 25% com média de 14% e a ingestão de nitrogênio entre os animais variou de 51 a 309 g de N animal⁻¹ d⁻¹ com média de 162 g de N animal⁻¹ d⁻¹.

Para as categorias bezerro(a) e novilho(a) as médias de peso utilizadas para estimar o

consumo de matéria seca e nitrogênio na região amazônica variou de 100 a 280 kg (Tabelas 18 a 20) e o consumo de nitrogênio variou de 14,6 a 90,2 g de N animal⁻¹ d⁻¹, com valor máximo de 23,2 g de N animal⁻¹ d⁻¹ para as categorias bezerro(a)s (Tabela 21) em virtude da alimentação exclusivamente a pasto. Dessa forma, é possível que o modelo de WALDRIP et al. (2013), não tenha se adequadado a base de dados coletada na região amazônica por esta conter animais com média de peso e consumo de N inferiores aos utilizados na base de dados que conceberam esses modelos.

Observações similares podem ser feitas em relação aos modelos propostos por DONG et al. (2014) (Tabela 23), no qual utilizaram 49 estudos para compor sua base dados, ou seja, um número maior de estudos em comparação aos 12 estudos utilizados por WALDRIP et al. (2013), e uma faixa de peso mais ampla dos animais (101 a 626 kg), que pode ter contribuído para amenizar as distorções para as categorias mais jovens ao se utilizar os dados coletados na região amazônica. Ainda assim, vale ressaltar que a grande maioria dos estudos utilizados por DONG et al. (2014) foram conduzidos nos EUA com animais em confinamento e por isso a ingestão diária de nitrogênio permaneceu acima dos valores observados na região amazônica para as categorias bezerro(a)s e novilho(a)s variando de 52 a 350 g de N animal⁻¹ d⁻¹, com média de 141 g de N animal⁻¹ d⁻¹. Sendo assim, a utilização dos modelos propostos por DONG et al. (2014) também favoreceram a subestimativa da excreção de N na urina, especialmente para as categorias mais jovens dos rebanhos observados na região norte.

Tabela 23. Estimativa da excreção diária de nitrogênio Fecal e Urinário por animal nos cenários 1, 2 e 3 utilizando os dados da Tabela 21 e as equações elaboradas por DONG et al. (2014).

Categorias	Excreção de nitrogênio: g / animal / dia					
	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Urina	Fezes	Urina	Fezes	Urina	Fezes
Vacas	48,48	40,37	55,48	43,12	71,40	49,36
Bezerras	-6,66	18,75	-5,00	19,40	-2,84	20,24
Bezerros	-6,21	18,92	-4,53	19,58	-2,29	20,46
Novilha	12,82	26,39	18,70	28,69	28,59	32,57
Novilho	15,78	27,55	21,84	29,92	31,88	33,86
Fêmeas quase adultas	22,02	29,99	28,47	32,52	41,74	37,73
Machos quase adultos	28,27	32,44	35,10	35,12	48,31	40,30
Fêmeas em terminação	31,22	33,60	51,61	41,60	115,68	66,72
Machos em terminação	42,40	37,98	67,60	47,87	141,65	76,90
Touros	71,31	49,32	76,65	51,42	92,67	57,70

Equações utilizadas: Excreção de N via urina (g/dia) = $0,51 \times \text{CN} - 14,12$; Excreção de N via fezes (g/dia) = $0,20 \times \text{CN} + 15,82$; onde CN = consumo de nitrogênio (g/animal/dia). Fonte: DONG et al. (2014).

Os modelos de predição e excreção de N que melhor se ajustaram aos dados apresentados nesse trabalho foram propostos por PRADOS et al. (2016) (Tabela 24). Estes autores utilizaram 18 estudos realizados em condições tropicais para propor equações que melhor representassem a realidade do Brasil, condições ambientais e grupos genéticos, totalizando 751 observações utilizadas nos procedimentos de consumo e excreção de nitrogênio, consumo de nutrientes digestíveis totais e peso corporal. Para elaboração das equações o banco de dados contou com animais com variação de peso corporal de 34,94 a 671,78 kg e consumo diário de N variando de 24,53 a 328 g de N animal⁻¹ d⁻¹, com média de 134,84 g de N animal⁻¹ d⁻¹. Dessa forma, as faixas de peso para as categorias mais jovens dos rebanhos bovinos na região amazônica (Tabela 14) passaram a ser contempladas pelas

equações, bem como o consumo inicial de 24,53 g de N animal⁻¹ d⁻¹ que é mais próximo das estimativas apresentadas na Tabela 21, especialmente para o cenário 1 que possui as menores faixas de peso e menor ingestão de nitrogênio. As estimativas de excreção de N nas fezes e urina utilizando as equações de PRADOS et al. (2016) são apresentadas a seguir na Tabela 24.

Tabela 24. Estimativa da excreção diária de nitrogênio Fecal e Urinário por animal nos cenários 1, 2 e 3 utilizando os dados da Tabela 21 e as equações elaboradas por PRADOS et al. (2016).

Categorias	Excreção de nitrogênio: g / animal / dia					
	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Urina	Fezes	Urina	Fezes	Urina	Fezes
Vacas	45,55	40,05	50,22	43,85	60,84	52,87
Bezerras	8,80	9,36	9,90	10,70	11,34	12,33
Bezerros	9,09	9,72	10,21	11,07	11,71	12,75
Novilha	21,78	19,65	25,70	23,12	32,30	28,89
Novilho	23,75	21,52	27,79	25,09	34,49	30,92
Fêmeas quase adultas	27,92	25,48	32,21	29,25	41,06	37,00
Machos quase adultos	32,08	29,44	36,64	33,40	45,44	41,05
Fêmeas em terminação	34,05	31,32	47,64	42,24	90,36	78,20
Machos em terminação	41,50	38,41	58,30	51,90	107,66	93,33
Touros	60,77	56,76	64,33	59,44	75,01	68,41

Equações utilizadas: Excreção de N via urina (g/dia) = 3,82 + 0,34 × CN; Excreção de N via fezes (g/dia) = 2,55 + 0,048 × PC - 3,47 × CNDT + 0,30 × CN; onde PC = peso corporal (kg), CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/animal/dia) e CN = consumo de nitrogênio (g/animal/dia). Fonte: PRADOS et al. (2016).

As equações elaboradas por PRADOS et al. (2016) foram validadas pelos autores utilizando um conjunto de 13 artigos, onde o peso corporal dos animais (118,41 a 521,62 kg) e consumo de N (23,05 a 193,67 g de N animal⁻¹ d⁻¹) também estiveram próximos aos observados para os cenários de produção de gado de corte na região amazônica. Conforme observado na Tabela 24, a excreção de nitrogênio na urina e fezes tende a aumentar a medida em que se aumenta também a ingestão de nitrogênio (Tabela 21). A crescente ingestão de N entre as categorias animais e entre os cenários na Tabela 21 provavelmente ocorre em função da produção e qualidade da forragem que sofre influência da época do ano (COSTA et al., 2005; EUCLIDES et al., 2009; RODRIGUES et al., 2008), faixa de peso dos animais e suplementação com mistura múltipla mineral.

De acordo com VIEIRA et al. (2017) animais mais produtivos devem consumir maiores quantidades de nitrogênio, porém, este deve ser utilizado para a sua manutenção e a sua produção, já que o seu excesso é eliminado. Para MENEZES et al. (2016) os níveis de proteína bruta na dieta influenciam a excreção de N na urina e fezes, ocorrendo aumento linear da excreção de N mediante o aumento do consumo de proteína bruta, comportamento que também foi observado por OLIVEIRA et al. (2001) e PEREIRA et al. (2007).

É possível observar também na Tabela 24 que o aumento da ingestão de N tende a aumentar a proporção do N excretado na urina, especialmente nos cenários 2 e 3 onde é realizada a suplementação de machos e fêmeas adultos em terminação. De acordo com RODRIGUES et al. (2008) a maior concentração de nitrogênio na dieta normalmente permite aumento de nitrogênio excretado pela urina e, conseqüentemente, do retorno de nitrogênio ao solo para ser utilizado pela planta para produção de forragem. O excesso de N circulante ocorre em virtude do aumento dos níveis de PB, ocasionando maior síntese de ureia pelo fígado, e posterior excreção urinária (PEREIRA et al., 2007), que em certos casos pode representar

desperdício de proteína no sistema de produção (CAVALCANTE et al., 2006) e contaminação ambiental por nitrificação dos compostos nitrogenados (VIEIRA et al., 2017; BORGES et al., 2018).

De acordo com PRADOS et al. (2016) a maioria do nitrogênio consumido por bovinos de corte confinados é excretado nas fezes e urina, sendo a perda de N por descamação de células epiteliais pouco relevante. Estes autores obtiveram em um conjunto de 466 dados individuais um índice médio de assimilação de N de 30 % para bovinos de corte, contrastando com médias de retenção de N próximas a 10% apresentadas por HUTCHINGS et al. (1996) e DETMANN et al. (2014). A partir da ingestão de N apresentada na Tabela 21 e excreção de N obtidas pelas equações de PRADOS et al. (2016) (Tabela 24), foram calculadas as médias de retenção de N para bovinos de corte em diferentes cenários de produção na região amazônica, apresentadas a seguir na Tabela 25.

Tabela 25. Balanço de nitrogênio para bovinos de corte nos cenários de produção 1, 2 e 3 na região amazônica, considerando as estimativas de ingestão de nitrogênio na Tabela 21 e excreção de nitrogênio na Tabela 24.

Categorias	Nitrogênio retido / animal / dia					
	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	¹ N retido (g)	² N retido (%)	¹ N retido (g)	² N retido (%)	¹ N retido (g)	² N retido (%)
Vacas	37,14	30,26	42,40	31,07	53,99	32,19
Bezerras	-3,52	-24,07	-2,72	-15,21	-1,56	-7,04
Bezerros	-3,31	-21,34	-2,48	-13,21	-1,26	-5,43
Novilha	11,40	21,58	15,53	24,13	22,56	26,94
Novilho	13,35	22,77	17,63	25,00	24,79	27,48
Fêmeas quase adultas	17,47	24,65	22,05	26,41	31,47	28,73
Machos quase adultos	21,59	25,98	26,48	27,43	35,92	29,34
Fêmeas em terminação	23,54	26,48	39,00	30,26	85,97	33,78
Machos em terminação	30,91	27,89	50,03	31,23	104,43	34,19
Touros	49,98	29,84	54,20	30,45	65,96	31,50

¹Nitrogênio ingerido (g) – Nitrogênio excretado (g); ²Percentual do nitrogênio retido em relação ao nitrogênio ingerido. N = nitrogênio.

De acordo com a Tabela 25 é possível observar que para a categoria bezerro(a)s o balanço de N foi negativo em todos os cenários. Esse balanço não foi condizente com a retenção de N para diferentes categorias de bovinos de corte e mestiços observadas em outros estudos (SILVA, 2013; ROCHA et al., 1999; MANZANO et al., 1999; SILVA et al., 2020; HUTCHINGS et al., 1996; RODRIGUES et al., 2008; DETMANN et al., 2014; PRADOS et al., 2016; BORGES et al., 2018).

A curva típica de crescimento dos bovinos apresenta uma forma sigmóide (NOBRE et al. 1987; SILVA et al., 2004; LEMES & GUEDES, 2005) e tem dois segmentos principais: um primeiro, de crescimento acelerado, até atingir o ponto de inflexão da curva, em que a taxa de crescimento é máxima. No segmento seguinte, passa a haver a diminuição no crescimento, com aumento crescente da taxa de deposição de gordura (LEMES & GUEDES, 2005).

A primeira fase de crescimento caracteriza-se por maior acúmulo de tecido ósseo e muscular (LEMES & GUEDES, 2005; POSSAMAI et al., 2014), onde o ponto de inflexão da curva situa-se entre os 12 e 18 meses para a maioria das raças bovinas (LUCHIARI FILHO, 2000; LEMES & GUEDES, 2005).

LOPES et al. (2016) observou que a taxa de crescimento de bovinos nelore apresentou

aumento do nascimento até atingir o ponto em que o crescimento foi máximo, com decréscimo acentuado da taxa de crescimento absoluto na fase pós-desmama. A Figura 32 apresenta a taxa de crescimento instantâneo (TCI, kg dia⁻¹) obtida por LOPES et al. (2016) utilizando diferentes modelos, onde é possível observar que as maiores taxas de ganho de peso tendem a ocorrer nos primeiros meses de vida dos animais, com seu ápice abrangendo o período de desmama. Estes autores inclusive orientam que estratégias nutricionais precisam ser adotadas, com o objetivo de melhorar o ganho de peso na fase pós-desmama.

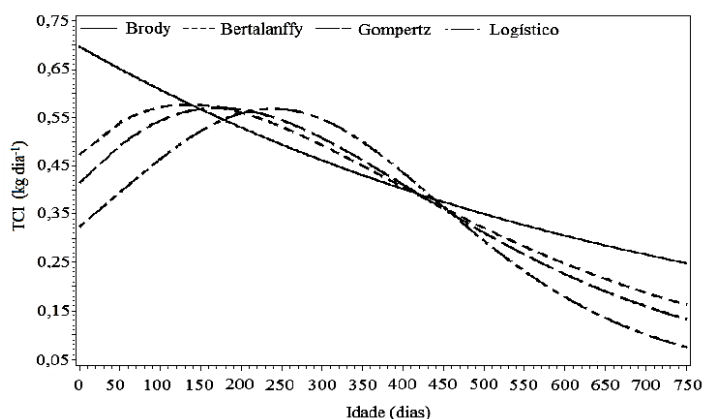


Figura 32. Taxa de crescimento instantâneo (TCI, kg dia⁻¹) obtida por meio dos modelos de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico para fêmeas da raça Nelore. Fonte: LOPES et al. (2016).

Dessa forma, o balanço de N para a categoria bezerro(a)s apresentado na Tabela 25 mostrou-se incompatível para uma fase de crescimento ativo onde se faz necessário a assimilação de N para ganho de peso e formação de tecido muscular como esperado para os cenários observados na região amazônica (Tabela 15). O balanço de N negativo pode ser indício de que os requerimentos proteicos dos animais não estariam sendo atendidos (VIEIRA et al., 2017), já o balanço de N positivo indicaria que há retenção de proteína no organismo animal, proporcionando condições para que não ocorra perda de peso (PEREIRA et al., 2007).

De acordo com PRADOS et al. (2016) a baixa retenção de N pode resultar da baixa qualidade da forragem no sistema de pastejo (baixo suprimento de N) e em sistemas de confinamento pelas dietas excessivas em nitrogênio, devido a cálculos de exigências superestimados ou uso de sistemas de exigências não condizentes com os animais e condições climáticas, entre outras.

Uma vez que não foi possível estimar adequadamente o balanço de N para esta categoria bezerro(a)s a partir dos valores de ingestão e excreção de N propostos respectivamente nas Tabelas 21 e 24, serão adotados para esta categoria valores de retenção de N proporcionais aos da categoria novilho(a)s, por ser a categoria mais próxima em termos de faixa etária e de peso.

A transição do estado de monogástrico para poligástrico na fase de bezerro faz com essa categoria não utilize com eficiência determinadas fontes energéticas e protéicas e tenha exigências dietéticas mais complexas conforme pode ser observado em ROCHA et al. (1999). Dessa forma, a concepção de modelos para estimativas de excreção e retenção de N para esta categoria parece ser mais desafiadora, podendo representar também uma boa oportunidade para realização de estudos mais específicos para esta fase de vida dos animais, que poderão contribuir futuramente para estimativas mais precisas.

Para as demais categorias a retenção de N foi crescente conforme o aumento da ingestão de N e faixa de peso dos animais entre os diferentes cenários C3>C2>C1 (Tabela 25). Nos cenários de produção o balanço de N entre novilhos e adultos variou de 21,58 a 34,19%. No

Brasil diversos estudos relacionados a ingestão e assimilação de N por bovinos vem sendo realizado ao longo dos anos, nos quais é possível observar que o balanço de N pode ser influenciado pela raça, faixa etária, sexo, peso dos animais, dieta e fatores ambientais. O balanço de N obtido neste estudo para os cenários de produção de bovinos na região amazônica são condizentes com diversos estudos realizados com bovinos de corte e mestiços em condições tropicais conforme apresentado na Tabela 26.

Tabela 26. Ingestão, excreção e balanço de nitrogênio obtidos em diferentes estudos com bovinos de corte e mestiços no Brasil.

Autor	Raça / Peso vivo (kg)	1N Ingerido (g/an/dia)	2N Urinário (g/an/dia)	3N Fecal (g/an/dia)	4N retido (%)
Pereira et al. (2007)	Bovino mestiço / 461,19 ±7,59	88,65	10,47	49,78	32,04
Vieira et al. (2017)	Leiteira / 389	150	22,45	42,4	56,77
Borges et al. (2018)	Novilhos de corte / 336±47	200,1	46,56	53,13	50,17
*Mendonça et al. (2004)	Vaca holandesa	383	104	117	18,02
*Mendonça et al. (2004)	Vaca holandesa	462	136	127	19,05
*Silva et al. (2014)	Vaca holandesa / 603±65	479,2	76,96	91,54	43,35
*Silva et al. (2014)	Vaca holandesa / 603±65	505,2	81,04	97,2	43,21
Silva (2013)	Bezerro mestiço / 36±0,95	9,4	5,51	1,05	30,21
Silva (2013)	Bezerro mestiço / 36±0,95	25,69	12,21	2,87	41,30
Silva (2013)	Bezerro mestiço / 36±0,95	43,31	12,51	3,17	63,80
Lucci et al. (1989)	Bezerro mestiço / 55 a 65	-	-	-	30 a 44,2
Rocha et al. (1999)	Bezerro mestiço /	40	-	-	36,45
Rocha et al. (1999)	Bezerro mestiço /	43,2	-	-	35,76
Manzano et al. (1999)	Novilha Nelore / 241+6	39,3	11,8	17,2	26,21
Manzano et al. (1999)	Novilha Nelore / 220+6	111,2	42,5	39,8	25,99
Manzano et al. (1999)	Novilha Nelore / 236+6	167,4	69	41,9	33,75
Silva et al. (2020)	Novilha Nelore / 285,89 ± 18,74	105,3	12,93	37,88	51,79
Silva et al. (2020)	Novilha Nelore / 285,89 ± 18,74	126,9	19,07	51,92	43,92
Silva et al. (2020)	Novilha Nelore / 285,89 ± 18,74	142,9	26,25	60,1	33,8
Carvalho et al. (2011)	Novilha mestiça / 200	97,7	47,1	34,6	15,4
Carvalho et al. (2011)	Novilha mestiça / 200	131,3	54,4	31,5	33,2
Carvalho et al. (2011)	Novilha mestiça / 200	152,5	53,2	38,1	41,2

*Foi considerado o nitrogênio (N) excretado no leite para o cálculo do balanço de N. ¹Nitrogênio ingerido por meio do consumo de forragem e suplementos; ²Nitrogênio excretado via urina; ³Nitrogênio excretado via fezes; ⁴Percentual do nitrogênio retido no organismo (N ingerido – N excretado).

4.4 Emissões de N₂O de Urina e Fezes de Bovinos Oriundos de Sistema com Pastejo Contínuo e Rotacionado associado a ILP

O monitoramento da chuva e temperatura realizado na área experimental em Novo Repartimento (PA) no período de dezembro de 2018 a fevereiro de 2020, demonstrou que o comportamento pluviométrico e a variação da temperatura ao longo do experimento foram coerentes com a série histórica da região (INMET, 2021), totalizando 3.286 mm de chuva durante todo o período, com a maior parte das chuvas concentradas entre os meses de dezembro a maio, e um período relativamente seco entre os meses de julho a novembro, onde o ápice da restrição hídrica tende a ocorrer entre os meses de agosto e setembro. A temperatura do ar registrada em todo o período esteve entre 23 °C a 33 °C, conforme o esperado para a região. Os dados desse monitoramento são apresentados a seguir da Figura 33.

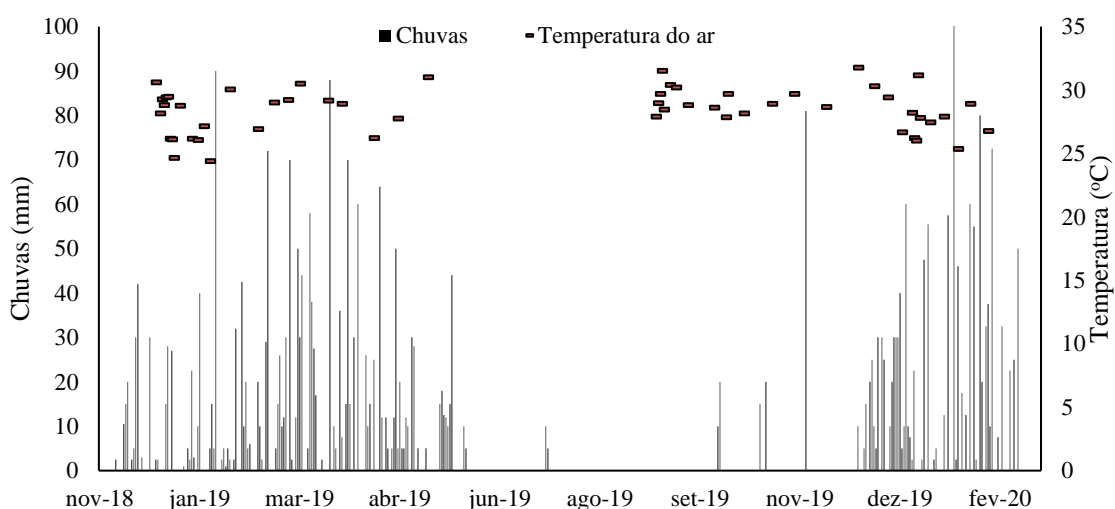
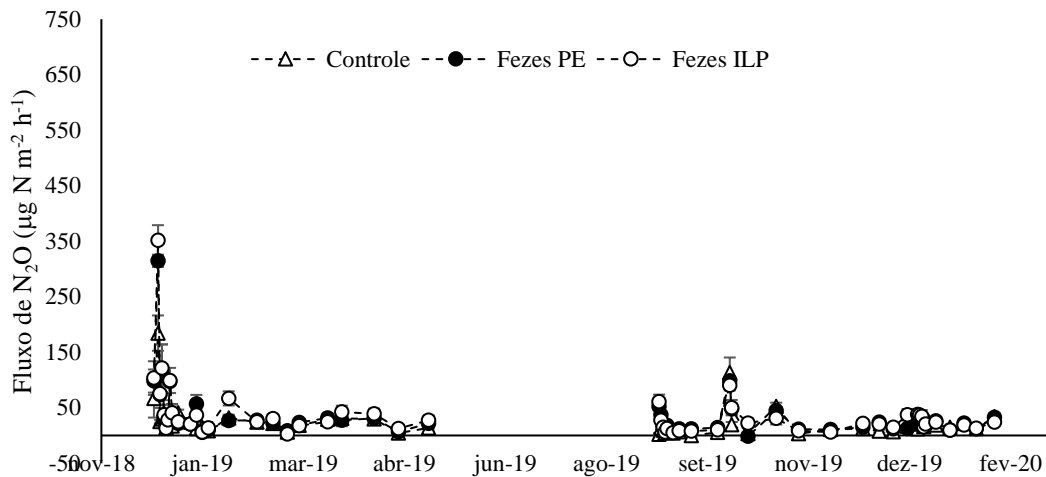


Figura 33. Temperatura do ar (°C) e precipitação pluvial (mm) registradas na área experimental da fazenda Vista Alegre no município de Novo Repartimento (PA), no período de dezembro de 2018 a fevereiro de 2020.

O experimento no período chuvoso 2018/2019 teve início com a deposição das excretas nas parcelas no dia 21/12/2018 e a realização da primeira coleta de gases após 24h. Inicialmente foram realizadas 10 coletas em dias seguidos, modificando-se posteriormente os intervalos de amostragem, totalizando 29 coletas realizadas entre 22/12/2018 e 07/05/2019 conforme apresentado na Figura 23 (Material e Métodos). As emissões de N₂O da urina e fezes referente a esse período é apresentada a seguir na Figura 34.

A



B

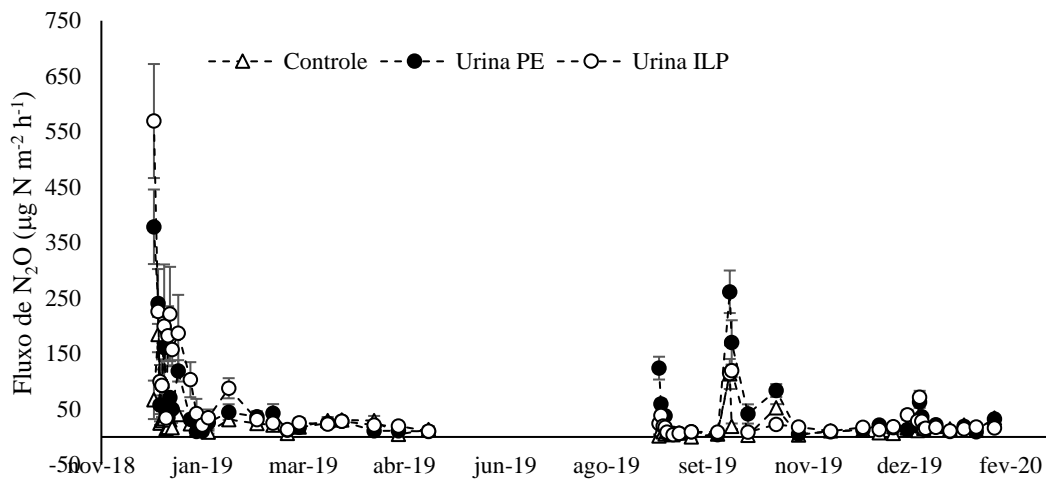


Figura 34. Emissões de N_2O da urina (A) e fezes (B) oriundas de animais em pastejo extensivo (PE) e pastejo rotacionado associado a integração lavoura-pecuária (ILP), durante o período das águas com transição para o período seco, e período seco com transição para o período das águas.

As excretas oriundas do pastejo ILP apresentaram as maiores emissões no período chuvoso 2018/2019. A urina de ambos os sistemas de pastejo apresentaram os maiores picos de emissão registrados na primeira coleta (24 h), conforme observado também por CHIAVEGATO (2010). Em outros estudos o maior pico de emissão da urina foi observado imediatamente após a deposição nas câmaras (BARNEZE et al., 2014; BRETAS et al., 2020). As emissões registradas na primeira coleta desse estudo apresentaram o valor médio de $569,23 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (ILP), $378,69 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (PE) e $66,84 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Controle) (Figura 34A). Os fluxos de N_2O da urina declinaram a partir da primeira medição, apresentando uma leve alta no dia 28/01/2019, provavelmente em decorrência do acúmulo de 102,5 mm de chuva na área experimental desde a coleta anterior.

O aumento da umidade do solo estimula a atividade biológica e restringe a disponibilidade de oxigênio por meio da saturação dos poros do solo com água favorecendo processos de desnitrificação que aumentam as perdas de N por meio da emissão de N_2O (BRETAS et al., 2020; LIU et al., 2007; DOBBIE & SMITH, 2001). A relação existente entre a umidade do solo e a emissão de N_2O tem sido reportada em diversos estudos (BRETAS et al.,

2020; CARDOSO et al., 2016b; LESSA et al., 2014) e pode explicar também os maiores fluxos observados na primeira coleta, devido ao acúmulo de 160 mm de chuva na área experimental nos dias que precederam a instalação do experimento, dos quais 30 mm ocorreram no dia da deposição das excretas nas parcelas. A instalação do experimento em uma área de Argissolo Vermelho-Amarelo também pode ter influenciado os processos de desnitrificação. De acordo com BOUWMAN & BOUMANS (2002), solos de textura fina têm mais poros capilares dentro de agregados que retêm a água com mais força do que os solos arenosos. Como resultado, as condições anaeróbicas podem ser mais facilmente alcançadas e mantidas por períodos mais longos dentro de agregados em solos de textura fina do que em solos de textura grossa.

As maiores emissões de N₂O da urina ocorreram nos primeiros 18 dias de experimento, período similar aos observados por CARDOSO (2012) e LESSA (2011) com fluxo médio de 188,50 µg N m⁻² h⁻¹ (ILP), 116,81 µg N m⁻² h⁻¹ (PE) e 43,89 µg N m⁻² h⁻¹ (Controle), diferença que pode ser atribuída as diferentes quantidades de N/parcela (BRETAS et al., 2020; CARDOSO, 2012) representada pelos tratamentos ILP e PE, com 1,52 g e 0,8 g, respectivamente. A maior parte do N na urina encontra-se prontamente disponível para conversão em amônio quando em contato com o solo (HAYNES & WILLIAMS, 1993), o que torna essa fonte de N mais suscetível a estímulos e transformações no ambiente. CARDOSO (2012) observou que tratamentos que receberam urina haviam emitido mais de 95% do total de N₂O nos primeiros 25 dias de avaliação.

Para as fezes os maiores fluxos de N₂O no período chuvoso 2018/2019 (Figura 34B) ocorreram no 3º dia após a deposição das excretas, próximo ao período observado por CARDOSO et al. (2016b), com 351,78 µg N m⁻² h⁻¹ (ILP), 314,36 µg N m⁻² h⁻¹ (PE) e 184,44 µg N m⁻² h⁻¹ (Controle). Embora as fezes adicionadas as parcelas tenham representado diferentes quantidades de N (ILP – 8,3 g parcela⁻¹; PE – 5,95 g parcela⁻¹), na maioria das medições os fluxos de ambos os sistemas se mantiveram próximos, chegando a igualar os valores do controle sem excretas já no 6º dia de avaliação e posteriormente apresentando aumentos ocasionais dos fluxos, que semelhante ao observado para urina ocorreram após acúmulo de precipitação em dias anteriores.

Os fluxos de N₂O das fezes tendem a ser menores que os da urina, sendo comum também que estes não difiram do controle (LESSA, 2011; LESSA et al., 2014; BRETAS et al., 2020), pode ser observado também que em situações em que há baixa disponibilidade de N-mineral no solo, a relação C/N relativamente alta das fezes pode contribuir para fluxos negativos de N₂O (MAZZETTO et al., 2014). Nas fezes o N apresenta-se como componente de compostos orgânicos, e é liberado de forma mais lenta resultando de processos de degradação da matéria orgânica que envolvem quebras físicas e atividade biológica (HAYNES & WILLIAMS, 1993).

A redução das emissões das fezes no 6º dia de avaliação pode ser associada a formação de crostas (Figura 35) resultantes da perda de umidade. Nesse estado, ainda que as fezes possam ser consideradas uma fonte de GEE, a emissão de N₂O tende a diminuir, podendo se igualar ao controle sem excreta (MAZZETTO et al., 2014). A Figura 35 apresenta a evolução da decomposição das fezes durante as 29 coletas realizadas entre 22/12/2018 e 07/05/2019 (período chuvoso). É possível observar que apesar da formação de crostas, o material se decompôs completamente, não restando resíduos visíveis das fezes ao final do experimento (Figura 35), um sinal de que a presença constante de umidade associada a altas temperaturas estimularam a atividade biológica para a transformação completa do material.

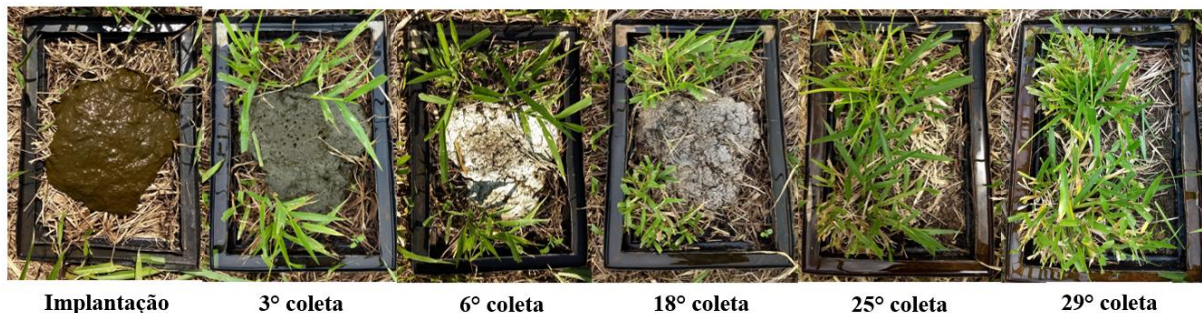


Figura 35. Decomposição das fezes de bovinos durante as 29 coletas de N₂O realizadas entre 22/12/2018 e 07/05/2019 (período chuvoso).

Após 113 dias da finalização das amostragens no período chuvoso, as excretas foram novamente depositadas nas parcelas seguindo os mesmos tratamentos e delineamento do experimento anterior. Essa etapa foi realizada na transição do período seco para o período chuvoso de 2019/2020.

Na área experimental as chuvas registradas nos três meses que precederam a reaplicação das excretas (junho, julho e agosto) contabilizavam apenas 15 mm, tendo ocorrido no início de julho. A deposição das excretas nas parcelas foi realizada no dia 28/08/2019 com a realização da primeira coleta de gases após 24h. As amostragens de GEE foram mais frequentes no início do experimento, sendo flexibilizadas na fase intermediária do experimento e intensificando-se novamente com o início do período chuvoso, conforme apresentado na Figura 23 (Material e Métodos). No período mais seco foram realizadas coletas seguidas para captar o efeito de chuvas esporádicas que ocorreram no início de outubro de 2019. Ao todo foram realizadas 29 coletas entre 29/08/2019 e 12/02/2020. As emissões de N₂O da urina e fezes referente a esse período constam na Figura 34 apresentada anteriormente.

Na primeira medição dos fluxos realizada 24h após a deposição das excretas o maior pico de emissão foi observado para urina PE com 123,99 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, em relação a Urina ILP (24,41 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e controle (1,73 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$). No segundo dia de amostragem as emissões da urina diminuíram para 59,26 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Urina PE), 38,43 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Urina ILP) e 13,59 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Controle). No 5º dia de amostragem as emissões de ambos os tratamentos já eram aproximadamente iguais. Dadas as condições climáticas (Figura 33), é provável que o primeiro pico de emissão observado esteja associado à nitrificação, devido ao aumento das concentrações de nitrogênio amoniacal no solo (BARNEZE et al., 2014).

Os maiores fluxos iniciais de N₂O da urina PE provavelmente ocorreram devido a maior quantidade de N aplicado via urina por parcela, sendo 3,49 g de N (Urina PE) contra 1,03 g de N (Urina ILP) (Tabela 9). Contudo, o maior teor de N da urina PE não era esperado tendo em vista que os animais do sistema ILP consumiram forragem fertilizada com adubação nitrogenada e tiveram a sua alimentação suplementada com mistura múltipla mineral (0,45% do PV com 49% de PB e 75% de NDT), proporcionando maior ingestão de N para esses animais. No entanto, durante a coleta dos dejetos nas fazendas observou-se que a urina dos animais no pastejo extensivo (PE) apresentava maior turbidez em relação aos animais em ILP (Figura 36), sendo essa característica um indício de urina mais concentrada (DALMOLIN, 2011).



Figura 36. Turbidez das urinas provenientes de animais em pastejo extensivo (PE) e animais em pastejo rotativo associado a integração lavoura-pecuária (ILP). Amostras coletadas no mês de agosto de 2019 (período seco).

É provável que essa diferença tenha ocorrido devido ao nível de hidratação dos animais. No sistema ILP os animais eram mantidos em pastejo rotacionado com maior acesso a bebedouros nos piquetes durante o período seco, possibilitando urina menos concentrada (Figura 36). Nos animais oriundos do pastejo extensivo (PE) observou-se que os animais eram mantidos em pastagens mais amplas e com maior dificuldade de acesso a fontes de água, apresentando urina mais concentrada (Figura 36).

A ocorrência de 30 mm de chuva no início do mês de outubro elevou as emissões de N_2O da urina a um patamar superior ao período de deposição das excretas nas parcelas com picos de emissão registrados no primeiro monitoramento após a chuva de $261,66 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (Urina PE), $114,32 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (Urina ILP) e $113,46 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (controle) e no segundo monitoramento após a chuva: $170,26 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (Urina PE), $119,19 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (Urina ILP) e $19,08 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (controle) (Figura 34A). Após a precipitação ocorrida no início de outubro as emissões entre os dois tratamentos entraram novamente em declínio e passaram a apresentar valores mais próximos, com um pequeno estímulo das emissões (Urina PE – $62,76 \mu g N m^{-2} h^{-1}$; Urina ILP - $71,84 \mu g N m^{-2} h^{-1}$; Controle – $20,62 \mu g N m^{-2} h^{-1}$) observado novamente no início de janeiro de 2020, após o acúmulo de 155 mm de precipitação na área experimental.

A modificação dos padrões de emissão de N_2O durante período seco em decorrência da presença de umidade também foi observado por LESSA et al. (2014), que ao monitorar as emissões de excretas na região Centro Oeste, constatou que só foi possível obter emissões de N_2O da urina superiores ao controle após duas simulações seguidas de chuva (8 e 20 mm) que elevaram o espaço poroso do solo saturado por água para níveis próximos a 50%, propiciando novamente as condições necessárias para desnitrificação.

As emissões de N_2O das fezes durante o período seco responderam aos mesmos estímulos ambientais observados para urina, ocorrendo, porém, em menor magnitude e com valores das emissões dos diferentes sistemas (PE e ILP) muito próximos. Na primeira medição dos fluxos realizada 24 h após a deposição das excretas nas excretas observou-se o segundo maior pico de emissões das fezes no experimento (Fezes ILP – $61,00 \mu g N m^{-2} h^{-1}$; Fezes PE - $52,29 \mu g N m^{-2} h^{-1}$; Controle – $1,73 \mu g N m^{-2} h^{-1}$). Os maiores picos de emissão das fezes foram observados no primeiro monitoramento realizado após os eventos de chuva ocorridos no início de outubro, porém foram inferiores ao controle: $98,29 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (Fezes PE), $90,27 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (Fezes ILP) e $113,46 \mu g N m^{-2} h^{-1}$ (Controle). No segundo monitoramento após a chuva as

emissões registradas foram as seguintes: 48,14 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Fezes PE), 50,12 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Fezes ILP) e 19,08 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Controle) (Figura 34B).

As emissões nas fezes foram similares ao controle na maioria dos monitoramentos, quadro que não se alterou com o retorno das chuvas a partir de dezembro (Figuras 33 e 34B). Conforme pode ser observado na Figura 37, diferente do que ocorreu no período chuvoso as fezes depositadas nas parcelas no período seco não foram decompostas por completo, provavelmente devido a intensa perda de umidade (SAGGAR et al., 2004) ocorrida nos meses de agosto a novembro, que apresentaram baixos índices de precipitação e temperaturas mais altas. Essa observação demonstra que as fezes depositadas na pastagem no período seco conseguem adentrar o período chuvoso, contribuindo para a emissão de N_2O nesse período, porém, com baixas taxas de emissão (MAZZETTO et al., 2014).

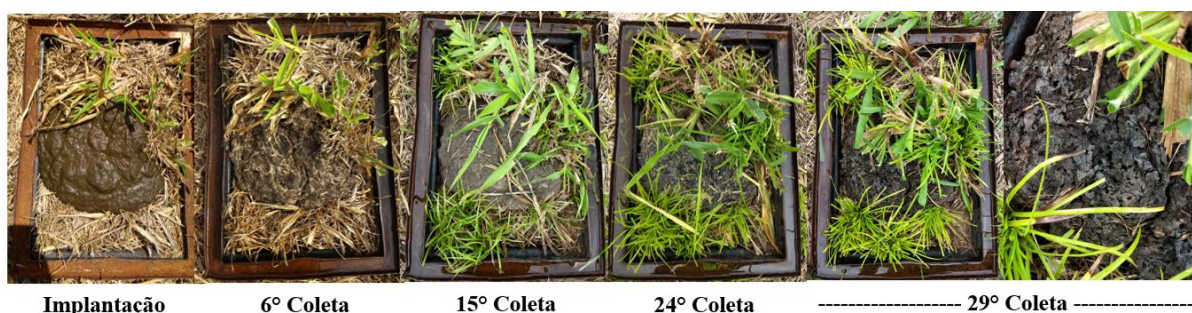


Figura 37. Decomposição das fezes de bovinos durante as 29 coletas de N_2O realizadas entre 29/08/2019 e 12/02/2020 (período seco com transição para o período chuvoso).

Não houve diferença estatística para os fatores de emissão observados para os diferentes tratamentos dentro das diferentes épocas do ano conforme demonstra a Tabela 27. BRETAS et al. (2020) ao comparar as emissões de N_2O de urina e fezes oriundas de pastagem de braquiária em monocultura (MONO) e Sistema Silvipastoril (SSP) com *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*, observou durante a estação chuvosa, que a porcentagem de N da urina perdida como N_2O foi significativamente maior no SSP (0,39%) do que em MONO (0,04%). No entanto, os sistemas de pastagem não influenciaram significativamente a porcentagem de N perdido como N_2O das fezes durante a estação chuvosa. Durante a estação seca, nenhuma diferença significativa foi observada entre qualquer um dos tratamentos.

Para os autores, a diferença entre as emissões da urina no período chuvoso pode ser atribuída ao fato da urina oriunda do SSP apresentar um teor de N 2,5 vezes maior do que em MONO e das condições propícias do período chuvoso para a desnitrificação. Em nosso estudo, a diferença entre os teores de N das urinas no período chuvoso (ILP – 1,52 g; PE – 0,8 g) e período seco (ILP – 1,03 g; PE – 3,49 g), não influenciaram significativamente os fatores de emissão entre os tratamentos (Tabela 27).

Tabela 27. Fatores de emissão e os respectivos erros-padrão de cada excreta (urina e fezes) obtida de animais de cada pasto (PE e ILP) e depositada no solo em cada época do ano (chuva e seca).

Categoria	Média	Erro padrão
Chuva/PE/Urina	1,338	0,206
Chuva/ ILP/ Urina	1,488	0,198
Chuva/PE/Fezes	0,151	0,043
Chuva/ILP/Fezes	0,155	0,029
Seca/PE/Urina	0,218	0,040
Seca/ILP/Urina	0,199	0,025
Seca/PE/Fezes	0,030	0,009

Neste estudo foram encontradas diferenças significativas entre os fatores de emissão por tipo de excreta e entre as estações do ano (Tabela 28), conforme observado também por CARDOSO et al. (2019). A Tabela 28 demonstra que as excretas em conjunto tendem a emitir mais N₂O no período chuvoso do que no período seco, a urina tende a ser a maior fonte de emissão independente da época, onde a urina no período chuvoso emite mais N₂O que as fezes e do que a urina + fezes no período seco.

Diversos estudos realizados no Brasil têm mostrado que os fatores de emissão (FEs) das excretas podem variar em função da região, tipo de excreta, estação do ano e condições experimentais: LESSA et al. (2014) encontraram FEs de 1,9% e 0,14% para urina e esterco, respectivamente durante o período chuvoso e valores próximos a zero durante o período seco no Cerrado; SORDI et al. (2014) obtiveram FE médio de 0,26% para urina e 0,15% para fezes no Paraná; BARNEZE et al. (2014) constataram que a emissão cumulativa líquida de N₂O da urina durante o verão em São Paulo representou 0,20% do N; BRETAS et al. (2020) em experimento conduzido em Minas Gerais verificaram que a fração anual média estimada de N perdida como N₂O seria 0,25% para a urina e 0,05% para fezes em sistema silvipastoril, enquanto seria 0,05% para urina e 0,01% para fezes em braquiária como monocultura; No Rio de Janeiro CARDOSO et al. (2016b) obteve FE de 0,18% para as fezes e de 4,9% a 2,4% para urina em função do volume aplicado durante o outono. Em revisão bibliográfica recente CARDOSO et al. (2019) propôs FEs de 0,84% para urina e 0,27% para fezes mediante a análise conjunta de diversos experimentos que mediram fluxos de emissão de N₂O a partir de excretas bovinas.

Tabela 28. Emissões de N₂O acumuladas de excretas bovinas no período de 136 dias após deposição na época das chuvas e 166 dias após deposição na época seca, e os respectivos fatores de emissão.

Tratamento*	N₂O (mg N/m²)	FE N₂O (g N/100g N)
Chuvas	124,4	0,783 A
Seca	46,6	0,116 B
Fezes	71,9	0,089 B
Urina	99,1	0,811 A
Chuva		
Fezes	103,7	0,153 b
Urina	145,1	1,413 a

Continua...

Continuação da **Tabela 28.**

Tratamento*	N₂O (mg N/m²)	FE N₂O (g N/100g N)
Seca		
Fezes	40,2	0,024 c
Urina	53,1	0,209 b

* Médias dos tratamentos e interações com diferenças significativas após ANOVA de dados transformados (logaritmo natural de x+1). As comparações estatísticas foram feitas somente para o fator de emissão dada as diferenças de emissões de N₂O inerentes às quantidades diferentes de N depositado nas diferentes excretas derivadas de diferentes pastagens e diferentes épocas.

Os FEs obtidos nesse estudo (Tabela 27 e 28) confirmam a necessidade de FEs individuais para fezes e urina e necessidade de estudos regionais para FEs que representem condições específicas. Esses resultados também demonstram que o FE de 2,0% para excretas proposto pelo Painel Intergovernamental em Mudanças climáticas (IPCC, 2006) poderia superestimar as emissões de N₂O da urina e fezes de bovinos nas condições edafoclimáticas do Pará, estando mais em linha a nova proposição de 0,4% (IPCC, 2019), se a considerarmos como um valor intermediário entre as médias anuais de emissão de N₂O obtidas em nossos experimentos: 0,811 e 0,089 g N/100g N para urina e fezes respectivamente.

O FE anual para urina obtido neste estudo está em linha com o valor de 0,73% encontrado por CARDOSO et al. (2019) e com a sua proposição baseada na revisão de outros estudos (0,84%). O FE anual para fezes, por outro lado, apresentou um baixo valor estando mais em linha com os resultados obtidos por BRETAS et al. (2020).

O comportamento das emissões de N₂O das fezes e urina dos sistemas em estudo mostrou-se fortemente influenciado pelas estações do ano, que na região norte se traduz principalmente pelas variações nos índices pluviométricos, tendo em vista que não há grandes oscilações na temperatura (INMET, 2021). Dessa forma, assim como observado nos estudos de LESSA et al. (2014), BARNEZE et al. (2014) e BRETAS et al. (2020), no período chuvoso as excretas tendem a emitir mais N₂O pois as condições de umidade do solo são favoráveis a transformação desses materiais e a desnitrificação, e em ambas as épocas a urina tende a atuar como a maior fonte de emissão (LESSA et al., 2014; SORDI et al., 2014; BRETAS et al., 2020).

Alguns desses estudos conseguem estabelecer boas correlações entre os picos de emissão de N₂O e o espaço poroso saturado por água (EPSA) do solo, contudo, essa correlação nem sempre é possível conforme observaram SORDI et al. (2014). Para os autores, mudanças no teor de água do solo causados pela evapotranspiração ou drenagem podem ocorrer entre chuvas e amostragens de solo, diminuindo a capacidade dessa variável em explicar os efeitos da chuva no solo. Assim, uma combinação de vários fatores, que podem mudar de experimento para experimento, está envolvida na determinação dos processos de nitrificação e desnitrificação como fontes das emissões de N₂O (SORDI et al., 2014).

Neste estudo, apesar das condições limitantes de mão de obra e infraestrutura, tendo em vista que os experimentos foram conduzidos em uma fazenda as margens da rodovia Transamazônica e distante de centros de pesquisa, buscou-se estender o período de amostragens o máximo possível entre as estações do ano, algo que só foi possível mediante o aumento dos intervalos de coleta. Conforme pode ser observado na Figura 38, a medida em que se estendeu a duração do experimento, nos últimos meses em que predominaram amostragens semanais e quinzenais houve tendência de aumento do erro amostral, limitando a resolução das amostragens e interferindo nos resultados estatísticos. O aumento do erro amostral em medições de fluxos de N₂O menos frequentes também ocorreu nos estudos conduzidos por PAREDES et al. (2015) e ROWLINGS et al. (2015), indicando que essa estratégia de amostragem pode subestimar ou superestimar as emissões.

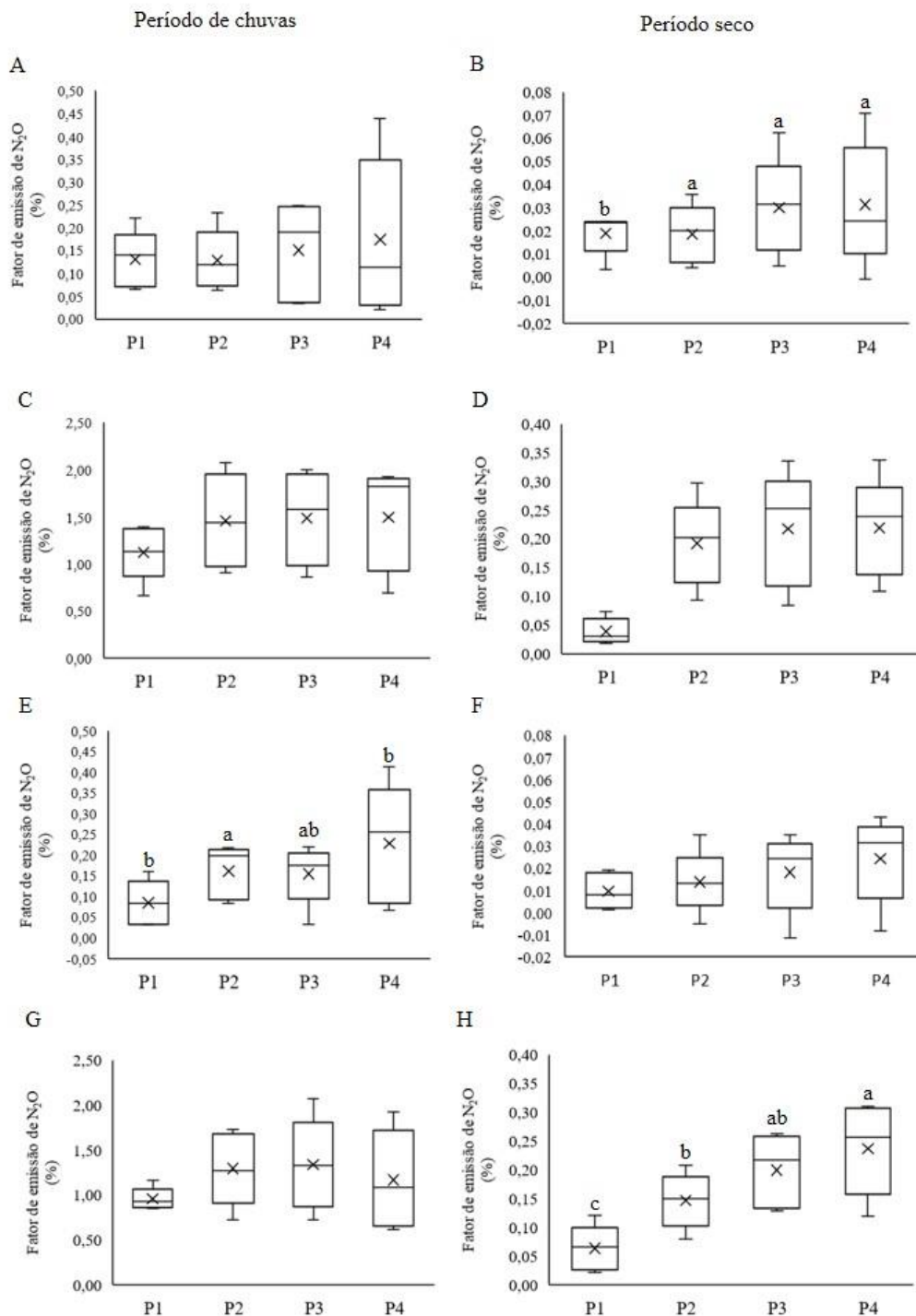


Figura 38. Fator de emissão de N₂O (%) para fezes (A, B, E e F) e urina (C, D, G e H) de bovinos mantidos em pastagens extensivas (A, B, C e D) e em sistemas integrados lavoura-pecuária (E, F, G e H), quantificados para excretas depositadas no período de chuvas (A, C, E e G) e no período de seca (B, D, F e H). P1, P2, P3 e P4 referem-se, respectivamente, a 27, 59, 86 e 136 dias após deposição das excretas no período de chuvas, e a 29, 58, 116 e 166 dias após deposição de excretas no período seco. Letras minúsculas diferentes indicam valores significativamente diferentes pelo teste l.s.d de Fisher (p<0.05).

Entretanto, para ROWLINGS et al. (2015) medições contínuas de longo prazo das emissões de N₂O ao longo de vários anos são essenciais para capturar adequadamente a variação interanual e fornecer as melhores estimativas de perdas anuais de N₂O. Esses autores observaram em diferentes usos do solo na Austrália que as emissões cumulativas de N₂O de 2007 (1.504 g N₂O-N ha⁻¹) foram 42% mais baixas do que as emissões cumulativas de 2008 (2.148 g N₂O-N ha⁻¹), apesar do volume de chuvas ter sido maior em 2007 (1.928 mm) do que em 2008 (1.432 mm). BOUWMAN & BOUMANS (2002) ao analisar as informações de 846 medições de emissão de N₂O em campos agrícolas, constataram que as estimativas de emissão de N₂O devem ser baseadas em medições cobrindo períodos de pelo menos 1 ano, com uma frequência de medição de pelo menos um por dia em períodos com altas taxas de fluxo (por exemplo, períodos após a aplicação de fertilizantes ou eventos de chuva) e frequências mais baixas em períodos com baixas taxas de fluxo.

Ainda que a maior parte do N dos dejetos seja emitido na forma de N₂O nas primeiras semanas, geralmente períodos de até 30 dias (LESSA et al., 2014; CARDOSO et al., 2016b), este estudo sugere que pode haver necessidade de mais tempo para a estabilização do fator de emissão, conforme pode ser observado na Figura 38H, onde as emissões da urina do sistema ILP no período seco só se estabilizaram no P3 (116 dias após a deposição das excretas). Ao realizar o monitoramento das emissões de N₂O em quatro períodos de 106 dias entre os anos de 2012 e 2014 CARDOSO et al. (2019) observaram durante a estação chuvosa de 2013 que a urina voltou a apresentar altos picos de emissão 94 dias após a deposição nas parcelas. Essa leitura pode ser um indício de que as emissões ocorridas até esse período tenham contribuído significativamente para a estabilização do fator de emissão encontrado. Esses autores também identificaram uma forte variação interanual nos tratamentos com esterco e ureia, onde o segundo ano do estudo mostrou emissões marcadamente reduzidas, que foram atribuídas a um período de estiagem na região de estudo.

Ao constatar diferenças significativas nas emissões médias sazonais e anuais de N₂O, ROWLINGS et al. (2015) propõem que as mudanças climáticas podem potencializar a variabilidade de precipitação, o que aumenta a importância de estudos de longa duração para mensurar a variação interanual dos fatores de emissão. Esses estudos apesar das despesas associadas à coleta de conjuntos de dados de alta resolução, devem levar em conta que coletas semanais ou em intervalos maiores tendem a aumentar o erro amostral (ROWLINGS et al., 2015; BOUWMAN & BOUMANS, 2002).

4.5 Estimativa das Emissões de GEE para os Cenários de Produção de Gado de Corte

A estimativa de emissões de GEE nos diferentes cenários de produção no estado do Pará foi realizada considerando-se o ciclo de vida dos animais em um rebanho em equilíbrio dinâmico. A composição do rebanho utilizada nos cenários foi elaborada a partir das entrevistas realizadas com produtores do estado do Pará e do trabalho de CARDOSO et al. (2016a) que estimou as emissões de GEE para bovinos de corte em cenários teóricos aplicados a Região do Cerrado brasileiro. A partir das entrevistas realizadas nas fazendas e com veterinários da região, foi adotada para a composição do rebanho a relação touro-fêmea 1:30 em todos os cenários e taxas de natalidade de 65%, 75% e 85% para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente. Também foram aplicadas as taxas de descarte de matrizes, taxas de mortalidade e outras especificidades apresentadas no Quadro 1 (pag. 57). A seguir a Tabela 29 apresenta as categorias animais que compõem os cenários de produção, bem como o número de animais em cada categoria e o período de permanência dos animais na categoria.

Tabela 29. Composição do rebanho, nº de animais por categoria e permanência (P.) dos animais na categoria para os diferentes cenários.

Categoria	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Nº de animais	P. (dias)	Nº de animais	P. (dias)	Nº de animais	P. (dias)
Touros	13	365	13	365	13	365
Vacas	400	365	400	365	400	365
Bezerras	130	240	150	240	170	240
Bezerros	130	240	150	240	170	240
Novilha	122	270	144	270	167	270
Novilho	122	270	144	270	167	270
Fêmeas quase adultas	120	270	143	270	166	270
Machos quase adultos	120	270	143	270	166	270
Fêmeas em terminação	120	300	143	210	166	120
Machos em terminação	120	300	143	210	166	120
Nº total de animais	1.396		1.571		1.749	
Área de pastagem (ha)	1.157		1.265		867	
Lotação (U.A/ha)	0,83		1,0		1,7	

U.A = Unidade animal equivalente a 450 kg; P.= permanência dos animais em cada categoria

As emissões diretas de N₂O a partir das excretas bovinas são apresentadas a seguir na Tabela 30. Para obtenção dos valores utilizou-se os dados de excreção de N obtidos a partir das equações elaboradas por PRADOS et al. (2016) (Tabela 24) e os fatores anuais de emissão direta de N₂O para urina (0,811%) e fezes (0,089%) obtidos no experimento de campo conduzido em Novo Repartimento (PA), disponíveis na Tabela 28. A Tabela 30 também apresenta os resultados obtidos a partir do fator de emissão de N₂O (0,6%) para urina e fezes disponibilizado na metodologia do IPCC (2019) Tier 2 para clima úmido.

Na Tabela 24 foi demonstrado que a excreção de N aumentou em função da quantidade de alimento ingerido e aumento do teor de PB da forragem e suplementos entre os cenários, com a excreção de N entre os cenários apresentando-se da seguinte forma: C3>C2>C1. Sendo assim, a emissão de N₂O apresentada na Tabela 30 acompanhou a mesma tendência, tendo em vista que a fonte de N para as emissões foi maior a medida em que se incrementou o ganho de peso, consumo de matéria seca de forragem, qualidade da forragem e oferta de mistura múltipla mineral entre os cenários. A melhoria de índices zootécnicos como taxa de natalidade e taxa de mortalidade contribuíram para o aumento do rebanho nos cenários 2 e 3, favorecendo também o aumento das emissões de N₂O das excretas.

De acordo com as informações disponibilizadas na Tabela 30, considerando as emissões anuais de N₂O das excretas a partir dos fatores de emissão obtidos neste estudo, verifica-se que no cenário 3 as emissões foram 53,5% superiores ao cenário 1 e 29% superiores ao cenário 2. O cenário 2 por sua vez apresentou emissões 19% superiores ao cenário 1. A Tabela 30 também demonstra que a utilização do fator de emissão de N₂O de 0,6% do IPCC (2019) para clima úmido tende a superestimar as emissões em comparação aos fatores de emissão obtidos localmente. Em valores percentuais essas diferenças são de 28,1%, 27,7% e 27,3% para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente. O fator de emissão do IPCC (2019) considera uma maior participação do N das fezes nas emissões de N₂O em comparação as emissões dessa excreta observadas em nosso experimento, o que favorece o aumento dos valores estimados para emissão desse gás na região.

Tabela 30. Emissões diretas de N₂O (fezes + urina) expressas em kg de N₂O/categoria animal/ano nos diferentes cenários utilizando os fatores de emissão nacionais (BR) obtidos em experimento de campo no município de Novo Repartimento (PA) e fatores de emissão da metodologia Tier 2 do IPCC (2006, 2019).

Categoria	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	N ₂ O 1BR	N ₂ O 2Tier 2	N ₂ O 1BR	N ₂ O 2Tier 2	N ₂ O 1BR	N ₂ O 2Tier 2
Touros	4,1	5,3	4,3	5,5	5,0	6,4
Vacas	92,9	117,8	102,4	129,5	124,0	156,5
Bezerras	3,9	5,3	5,1	7,0	6,6	9,1
Bezerros	4,0	5,5	5,2	7,2	6,8	9,4
Novilha	10,1	12,9	14,0	17,9	20,3	26,0
Novilho	11,0	14,1	15,1	19,4	21,7	27,7
Fêmeas quase adultas	12,7	16,3	17,4	22,3	25,7	32,9
Machos quase adultos	14,5	18,8	19,8	25,4	28,5	36,5
Fêmeas em terminação	17,2	22,1	19,9	25,4	25,1	31,6
Machos em terminação	20,9	27,1	24,4	31,1	29,9	37,7
Total N ₂ O rebanho ⁻¹ ano 1 (kg)	191,3	245,2	227,6	290,7	293,6	373,9

As emissões diretas de N₂O apresentadas levam em consideração os valores de excreção de N obtidos por meio das equações desenvolvidas por PRADOS et al. (2016) (Tabela 24) e o número de animais e seus respectivos períodos de permanência (número de dias/ano) em cada categoria apresentados na Tabela 29. 1Fatores anuais de emissão direta de N₂O para urina (0,811%) e fezes (0,089%) obtidos em experimento de campo no município de Novo Repartimento (PA), Brasil. 2Fator de emissão de N₂O de 0,6% para urina e fezes recomendado na metodologia Tier 2 (IPCC, 2019) para regiões de clima úmido.

Para estimativa da emissão do metano entérico (Tabela 31) foi utilizada a equação empírica desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014) (item 3.3), na qual foram inseridos os dados de ingestão de matéria seca de forragem apresentados nas Tabelas 18 a 20 e dados de FDN de fazendas com diferentes níveis tecnológicos (Tabela 17). Similar ao observado para a emissão de N₂O, e emissão de CH₄ entérico acompanhou o aumento da ingestão de matéria seca de forragem do cenário 1 ao cenário 3, fato atribuído principalmente ao maior peso corporal dos animais entre os cenários e maior disponibilidade de pasto com a intensificação dos sistemas. Para a categoria touros a qual se atribuiu peso constante entre os cenários, a emissão de metano diminuiu do cenário 1 ao cenário 3 (Tabela 31) acompanhando os valores decrescentes da FDN (Tabela 17).

Para animais da raça nelore com média de peso de 442±23 a 501±34 kg GOMES et al. (2015) obtiveram emissões diárias de metano entérico (verão e inverno de 2014) variando de 158 a 197 g cab⁻¹ dia⁻¹, valores coerentes aos apresentados na Tabela 31 para a categoria de adultos em terminação que apresentaram médias de peso (Tabela 15) próximas as utilizadas por esses autores. No ano seguinte (2015) esses autores obtiveram emissões diárias variando de 100 a 127 g de CH₄ cab⁻¹ dia⁻¹ para animais mais leves (382±22 kg) e jovens (24 meses). Essa faixa de emissão é próxima a observada para a categoria de novilhos(a) apresentado na Tabela 31.

Tabela 31. Emissões de CH₄ entérico nos diferentes cenários expressas por indivíduo (g/animal/dia), utilizando fator de emissão desenvolvido para raça Nelore no Brasil.

Categoria	CH ₄ - Cenário 1		CH ₄ - Cenário 2		CH ₄ - Cenário 3	
	g/animal/dia		g/animal/dia		g/animal/dia	
Touros	284		282		278	
Vacas	212		220		224	
Bezerras	38		40		36	
Bezerros	39		41		38	
Novilha	99		110		116	
Novilho	109		120		124	
Fêmeas quase adultas	128		139		149	
Machos quase adultos	148		159		165	
Fêmeas em terminação	157		166		154	
Machos em terminação	193		204		183	

Estimativa das emissões de CH₄ por meio da equação empírica desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014), para rebanhos Nelore no Brasil, onde CH₄ (kg/d) = -0,1011 (±0,02903) + 0,02062 (±0,002834) × IMS + 0,001648 (±0,000417) × FDN. Parâmetros da equação: CH₄ = emissão de metano entérico, IMS = ingestão de matéria seca (kg/dia), FDN = fibra em detergente neutro da dieta (%).

Utilizando a mesma equação empírica para emissão de CH₄ entérico, ALVES et al. (2015) em um estudo de caso considerando um animal inserido em um sistema de pastejo com 280 kg de peso vivo e alcançando o peso de 430 kg após 12 meses (peso médio de 355 kg) obteve emissões de 57 e 82 kg de CH₄ ano⁻¹, com média de 66 kg de CH₄ ano⁻¹. As emissões obtidas por esses autores são superiores as emissões obtidas em nosso estudo para animais na mesma faixa de peso (Tabela 32). Devido a oferta de forragem similar entre os dois estudos (valores próximos a 2% do PV), é provável que essa diferença tenha ocorrido em função do período de 270 dias adotado em nosso estudo para transição entre categorias intermediárias, refletindo na emissão anual da categoria e a utilização de valores de FDN menores (66 a 70%) que os utilizados por ALVES et al (2015) (71,7 a 76,5% de FDN) que interferem diretamente no resultado da equação. A simulação em um período de 12 meses utilizando os dados do nosso estudo e considerando animais nas mesmas condições de peso do estudo conduzido por ALVES et al. (2015), resultou em emissões anuais de CH₄ de 58 a 61 kg, enquadrando-se na faixa de emissão obtida por esses autores.

Tabela 32. Emissões de CH₄ entérico expressas em kg de CH₄/animal/ano nos diferentes cenários, utilizando fator de emissão para raça Nelore no Brasil (BR) e fator de emissão da metodologia Tier 2 do IPCC (2006, 2019).

Categoria	CH ₄ - Cenário 1		CH ₄ - Cenário 2		CH ₄ - Cenário 3	
	¹ BR	² Tier 2	¹ BR	² Tier 2	¹ BR	² Tier 2
Touros	104	131	103	126	101	99
Vacas	77	122	80	125	82	111
Bezerras	9	33	10	38	9	35
Bezerros	9	32	10	37	9	34
Novilha	27	47	30	50	31	44
Novilho	29	53	32	55	33	48

Continua...

Continuação da **Tabela 32.**

Categoria	CH ₄ - Cenário 1		CH ₄ - Cenário 2		CH ₄ - Cenário 3	
	¹ BR	² Tier 2	¹ BR	² Tier 2	¹ BR	² Tier 2
Fêmeas quase adultas	35	58	38	60	40	54
Machos quase adultos	40	68	43	70	45	60
Fêmeas em terminação	47	75	35	50	18	28
Machos em terminação	58	98	43	73	22	47
³ Emissão total de CH ₄ entérico (kg/rebanho/ano)	63.094	107.111	67.781	114.073	68.527	103.893

¹Estimativa das emissões de CH₄ entérico por meio da equação empírica desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014) para rebanhos Nelore no Brasil, onde CH₄ (kg/d) = -0,1011 (±0,02903) + 0,02062 (±0,002834) × IMS + 0,001648 (±0,000417) × FDN. Parâmetros da equação: CH₄ = emissão de metano entérico, IMS = ingestão de matéria seca (kg/dia), FDN = fibra em detergente neutro da dieta (%). ²Fator de emissão de CH₄ entérico a partir das equações disponibilizadas na metodologia Tier 2, item 10.3, do IPCC (2019). ³Este resultado leva em consideração as emissões individuais de CH₄ entérico (kg/animal/ano) apresentados nesta Tabela e o número de animais e seus respectivos períodos de permanência em cada categoria apresentados na Tabela 29 para cada cenário.

Considerando-se as estimativas de CH₄ entérico a partir da equação desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014), verifica-se que as emissões anuais de CH₄ entérico por rebanho (Tabela 32) do cenário 3 foi 8,6% superior ao cenário 1 e 1,1% superior ao cenário 2. Conforme apresentado nas Tabelas 18 a 20 o peso médio dos animais aumenta do cenário 1 ao cenário 3 em função do melhoramento genético dos animais e qualidade e disponibilidade dos alimentos (Quadro 1). Esse aumento de peso é seguido do aumento da ingestão de matéria seca de forragem (IMS) que é um dos principais componentes da equação desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014) para a estimativa da emissão de metano entérico (Item 3.3).

Por outro lado, o aumento da qualidade da forragem com a intensificação do uso de fertilizantes especialmente no cenário 3, promove a redução dos valores de FDN (Tabela 17) que também é um parâmetro importante dessa equação. Além disso, no cenário 3 devido ao maior nível de suplementação dos animais em terminação com mistura múltipla mineral (0,45% do peso vivo), foi considerado o efeito de substituição da forragem pelo suplemento (Tabela 16), que tende a ocorrer em níveis de oferta de suplemento acima de 0,3% do peso vivo (NICODEMU, 2001; THIAGO, 1999). Esses fatores associados a redução do tempo para terminação dos animais (Tabela 29), contribuíram para mitigar as emissões de CH₄, especialmente no cenário 3, cuja emissão de CH₄ entérico foi similar ao cenário 2 (1,1% superior), mesmo apresentando um número adicional de 228 animais no rebanho (Tabela 29).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) tem encorajado esforços científicos para elaboração de modelos de predição que aumentem a acurácia e precisão das estimativas brasileiras de gases de efeito estufa (GOMES et al., 2015). O IPCC também oferece duas opções simplificadas (Tier 1 e Tier 2) para estimativas de emissão de metano entérico, especialmente recomendadas para estabelecimento dos inventários nacionais, uma vez que são avaliações generalistas, apresentando valores médios de emissão de CH₄ de 56 kg cab⁻¹ ano⁻¹ (Tier 1) a 70 kg cab⁻¹ ano⁻¹ (Tier 2) (ALVES et al., 2015). Ao avaliar um conjunto de dados oriundo de 38 estudos conduzidos no Brasil e utilizando diferentes modelos para estimativa CH₄ entérico, RIBEIRO et al. (2020) obtiveram emissões de CH₄ de 202 g/dia para animais com peso médio de 451 kg. Esse resultado se assemelha aos obtidos em nosso estudo para animais próximos a essa categoria de peso (Tabela 31). RIBEIRO et al. (2020) também observaram que o método Tier 2 (IPCC, 2006) superestimou as emissões de metano para todo o conjunto de dados, uma tendência que também foi observada nesse estudo ao estimar essas emissões com a metodologia Tier 2 atualizada (IPCC, 2019). Conforme pode ser observado na Tabela 32 a metodologia Tier 2 (IPCC, 2019) proporcionou estimativas de

emissão de metano mais elevadas por animal, quando comparada a metodologia nacional adotada (MEDEIROS et al., 2014). Dessa forma, ao se considerar a emissão anual por rebanho, verifica-se que os valores estimados pelo método Tier 2 foram superiores as estimativas a partir do método de MEDEIROS et al., 2014, sendo essa diferença de 69,8% para o cenário 1, 68,3% para o cenário 2 e 51,6% para o cenário 3.

Independente da metodologia utilizada, as diferenças entre os cenários para a emissão de metano entérico podem ser explicadas pela diferença de peso entre os animais e pelas condições em cada cenário para aumento da ingestão de forragem, especialmente em relação ao manejo de pastagem e uso de insumos para melhoria da fertilidade do solo que tendem a ser aprimorados nos cenários 2 e 3. De acordo com GOMES et al. (2015), além da diferença de peso entre os animais, a emissão de metano entérico parece ser impulsionada principalmente pelos efeitos da disponibilidade de forragem dentro dos sistemas que, por sua vez, podem variar em função de fatores climáticos e do manejo da pastagem (por exemplo, taxa de lotação). Variações na precipitação pluvial observada por esses autores contribuíram para variações interanuais nas emissões de CH₄ entérico (2014/2015) e entre estações do ano.

Além do N₂O e CH₄ emitidos diretamente pelos animais, também foi estimado a emissão de GEE a partir de operações agrícolas e insumos utilizados nos sistemas de produção para quantificação da emissão total de GEE em cada cenário (Tabela 33). As informações de manejo obtidas nas entrevistas auxiliaram na delimitação dos cenários avaliados (Quadro 1). Além das características intrínsecas aos animais, esses cenários também são caracterizados pelas práticas de reforma, limpeza e manejo da pastagem e produção de suplementos para os animais. Essas operações envolvem o emprego de máquinas, fertilizantes e defensivos agrícolas que contribuem para emissão de GEE. Em atenção ao tópico 2.2 dessa tese, foi considerado o uso do fogo para limpeza de pastagem no cenário 1, tendo em vista ser uma prática adotada por muitos produtores na região. As emissões diretas de N₂O das excretas e CH₄ entérico consideradas para o cálculo da emissão total de GEE em cada cenário provém de fatores de emissão obtidos no Brasil.

Tabela 33. Emissões em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) a partir de insumos e operações agrícolas realizadas nas fazendas, emissão de N₂O das excretas e emissão de CH₄ das fezes e fermentação entérica. As emissões de N₂O das excretas e fermentação entérica consideram a utilização de fatores de emissão obtidos no Brasil. Os valores a seguir são expressos em kg de dióxido de carbono equivalente (CO₂e)/rebanho/ano.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
¹ Mistura mineral	2.104	4.434	9.684
² Energia elétrica	575	1.150	4.600
³ Sementes (Pastagem)	-	1.670	1.431
⁴ Milho (sementes, defensivos agrícolas)	-	100	561
⁵ Soja (sementes, defensivos agrícolas)	-	81	468
⁶ Combustível Fóssil	-	14.302	15.771
⁷ Emissões da queima de pastagem	87.814	-	-
⁸ Herbicida limpeza de pastagem	-	2.081	998
⁹ Calcário e Fertilizantes	-	99.856	168.452
¹⁰ CO ₂ e excretas (emissões diretas de N ₂ O)	50.688	60.325	77.815
¹¹ CO ₂ e excretas (emissões indiretas de N ₂ O)	51.329	60.865	78.275

Continua...

Continuação da **Tabela 33.**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
¹² CO ₂ e excretas (emissões CH ₄ das fezes)	2.239	2.367	2.008
¹³ CO ₂ e Fermentação Entérica	1.766.629	1.897.858	1.918.758
Total (kg CO₂e rebanho⁻¹ ano⁻¹)	1.961.378	2.145.089	2.278.811

¹Considerando o consumo médio de 50, 80 e 150 g/animal/dia para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente (Entrevistas) com fator de emissão de 0,12 kg CO₂/kg de mistura mineral estimado por CARDOSO (2012).

²Considerando o consumo de 5000, 10.000 e 40.000 Kwh/ano para os cenários 1, 2 e 3 (Entrevistas) respectivamente com fator de emissão de 115 kg CO₂/Mwh (EPE, 2015).

³Utilização de 12 kg/ha de sementes de *Brachiaria brizantha* (Meirelles & Mochiutti, 1999; Andrade & Assis, 2010) com fator de emissão de 1,1 kg de CO₂/kg de semente, adaptado de West & Marland (2002).

⁴Lavoura de milho de 1,1 ha (cenário 2) e 6,5 ha (cenário 3) com produtividade média de 6500 kg/ha aferida no município de Paragominas-PA (Entrevistas). Utilização dos fatores de emissão propostos por West & Marland (2002) para defensivos agrícolas e sementes de milho. A quantidade de insumos e número de operações agrícolas foram definidos de acordo com as Tabelas 13 e 14.

⁵Lavoura de soja de 1,4 ha (cenário 2) e 7,9 ha (cenário 3) com produtividade média de 3.550 kg/ha aferida no município de Paragominas-PA (Entrevistas). Utilização dos fatores de emissão propostos por West & Marland (2002) para defensivos agrícolas e sementes de milho. A quantidade de insumos e número de operações agrícolas foram definidos de acordo com as Tabelas 13 e 14.

⁶Diesel utilizado nas operações de reforma de pastagem a cada 10 anos no cenário 2 e 8 anos no cenário 3 (Entrevistas/MCTI, 2020) e limpeza anual de 10% da pastagem no cenário 2 e 7% no cenário 3 (Entrevistas), pulverização de defensivos agrícolas nas lavouras de milho e soja e transporte de produtos na fazenda, com rendimento médio de 13,4 L/hora máquina e fator de emissão de 3,53 kg de CO₂/Kg de Diesel (IPCC, 2006).

⁷Queima anual de 10% da área de pastagem no cenário 1 (Entrevistas) com biomassa de parte aérea de 8,54 t/ha na Amazônia (MCTI, 2020) utilizando os fatores de combustão e emissão de N₂O e CH₄ do IPCC (2006).

⁸Considerando-se a aplicação anual de 3,5 L/ha de Picloram (64g/L) + 2,4D (240 g/L) em 10% da pastagem no Cenário 2 e 7% da pastagem no Cenário 3 (Entrevistas) utilizando o fator de emissão de 4,7 kg de CO₂/L de Herbicida conforme West & Marland (2002).

⁹Aplicação de calcário dolomítico no **Cenário 2** (1500 kg/ha) e **Cenário 3** (3000 kg/ha); Fertilizantes no **Cenário 2** (90 kg de P₂O₅/ha) e **Cenário 3** (135 kg de P₂O₅/ha, 130 kg de K₂O/ha e 100 de N/ha) (Entrevistas). Nitrogênio residual da biomassa de Pastagem (140 kg de N/ha) MCTI (2020.), Soja (56,71 kg N/ha) Zotarelli et al. (2012) e milho (46,1 kg/ha) Zotarelli et al. (2012). Utilização dos fatores de emissão de CO₂ para calcário e fertilizantes conforme West & Marland (2002) e emissões diretas e indiretas de N₂O conforme as Tabelas 11.1 e 11.3 da metodologia do IPCC (2019) Tier 2.

¹⁰Emissões diretas de N₂O das excretas utilizando os fatores de emissão anuais para urina (0,811%) e fezes (0,089%) obtidos em experimento de campo em Novo Repartimento (PA). Valores expressos em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) do N₂O (GWP = 265) emitido pelas excretas MCTI (2016).

¹¹Emissões indiretas de N₂O das excretas utilizando os fatores de emissão apresentados na Tabela 11.3 da metodologia do IPCC (2019) Tier 2. Valores expressos em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) do N₂O (GWP = 265) emitido pelas excretas MCTI (2016).

¹²Emissões de CH₄ das fezes utilizando fator de emissão de acordo com a metodologia do IPCC (2019) Tier 2, item 10.3. Valores expressos em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) do N₂O (GWP = 28) emitido pelas excretas MCTI (2016).

¹³Fator de emissão de CH₄ entérico (Tabela 32) estimados por meio do modelo empírico desenvolvido por MEDEIROS et al. (2014), para raça Nelore no Brasil. Valores expressos em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) do CH₄ (GWP = 28) emitido pela fermentação entérica. MCTI (2016).

Conforme pode ser observado na Tabela 33, o cenário 3 apresenta emissões totais de CO₂e superiores aos demais cenários, sendo 16,2% superior ao cenário 1 e 6,2% superior ao cenário 2. As emissões de N₂O (Tabela 30) e CH₄ entérico (Tabela 32), seguiram um padrão semelhante entre os cenários (C3>C2>C1), tendo em vista que essas emissões foram em parte condicionadas pelo nível tecnológico de cada cenário, que impactou no ganho de peso dos animais e a disponibilidade de alimento. Quando considerado as operações agrícolas e uso de insumos verificou-se que estes contribuíram numericamente para o aumento das emissões nos

cenários, contudo não alteraram a configuração que já vinha sendo observada acerca das outras fontes emissoras (C3>C2>C1).

A distribuição percentual das principais fontes emissoras de GEE entre os cenários é apresentado a seguir na Figura 39, onde é possível notar que a fermentação entérica apresenta maior participação nessas emissões. Entretanto, a proporção de CH₄ entérico emitido tende a diminuir com a inserção de tecnologias de manejo de pastagem e suplementação dos animais nos cenários 2 e 3, que leva ao aumento a excreção de N dos animais e promovem emissões a partir de fertilizantes, combustíveis fósseis, dentre outros insumos. Esses resultados estão em linha com outros estudos, onde a emissão entérica tende a ser a principal fonte de emissão de GEE entre os cenários (CERRI et al., 2016; CARDOSO et al., 2016a; BOGAERTS et al., 2017; FIGUEIREDO et al., 2017). Contudo, a distribuição percentual das fontes emissoras pode variar entre os estudos, especialmente por considerarem diferenças entre operações agrícolas, utilização de insumos e utilização de diferentes fatores de emissão para o N₂O das excretas e CH₄ entérico.

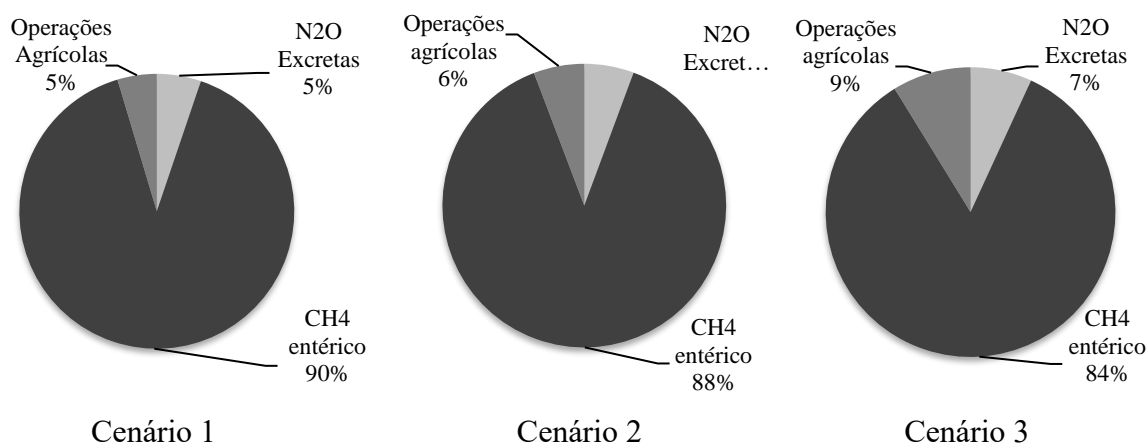


Figura 39. Distribuição percentual da emissão de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) a partir das operações e insumos agrícolas, emissões diretas e indiretas de N₂O das excretas e Fermentação Entérica (CH₄).

A Tabela 33 e Figura 39 demonstram que a carga de emissões atribuídas as operações agrícolas e insumos tende a ser crescente entre os cenários, com peso maior no cenário 3. A produção de metano entérico e N₂O pelos animais tende a seguir o mesmo comportamento, mostrando que a intensificação da produção de carne bovina tende a elevar as emissões quando observamos os valores totais emitidos por rebanho/ano (Tabela 33) e por unidade de área (Figura 40 A e B), conforme observado também por BOGAERTS et al. (2017).

A mitigação entre os sistemas foi identificada a partir da eficiência na produção de carne, onde percebe-se que os cenários mais intensivos tendem a apresentar menor emissão de CO₂e por kg de carcaça produzida (Figura 40). Neste estudo a mitigação por unidade de produto a partir da intensificação do sistema de produção foi estimada com a utilização de fatores de emissão obtidos para pecuária brasileira (Figura 40C) e metodologia Tier 2 do (IPCC, 2019) (Figura 40D). Quando utilizados os fatores de emissão nacionais, as emissões em kg de CO₂e/kg de carcaça foram de 37 kg, 32 kg e 28 kg para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente (Figura 40C). Quando utilizados os fatores de emissão da metodologia Tier 2 (IPCC, 2019), as emissões em kg de CO₂e/kg de carcaça foram de 62 kg, 54 kg e 43 kg para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente (Figura 40D).

CARDOSO et al. (2016a) utilizando a metodologia Tier 2 (IPCC, 2006) observaram mitigação das emissões de 58,3 para 29,4 kg de CO₂e / kg de carcaça produzida, em cenários

prototípicos aplicados ao Cerrado brasileiro. Entretanto, esses autores consideraram maior amplitude tecnológica entre os cenários estabelecidos, como por exemplo, taxas de lotação de 0,5 a 2,75 U.A ha⁻¹, intervalo mais curto para reforma de pastagem nos cenários mais intensivos (5 anos), dentre outros fatores que colaboraram para maiores diferenças nas emissões por kg de carcaça entre os cenários de menor e maior nível tecnológico.

Neste estudo a emissão de CO₂e/kg de carcaça situou-se em uma faixa de 28 a 37 kg, sendo relativamente próximas as estimativas de BOGAERTS et al. (2017) e RUVIARO et al. (2015) que em cenários mais intensificados, constataram respectivamente emissões de 36,4 e 36,6 kg de CO₂e/kg de carcaça.

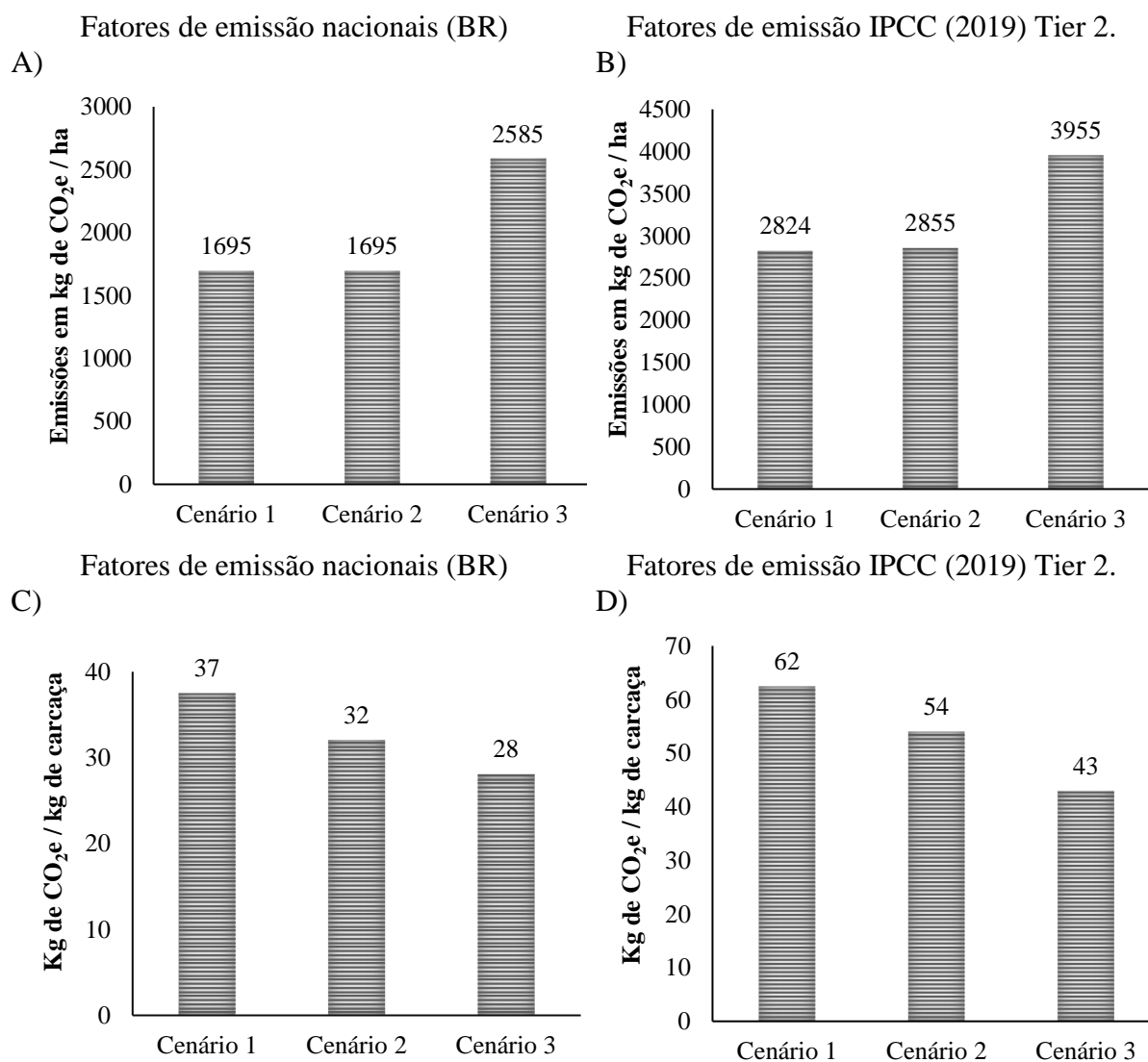


Figura 40. A) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) / hectare, utilizando fatores de emissões nacionais (BR). B) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) / hectare, utilizando fatores de emissão do IPCC (2019) Tier 2. C) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) / kg de carcaça produzida, utilizando fatores de emissão nacionais (BR). D) Emissões em kg de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) / kg de carcaça produzida, utilizando fatores de emissão do IPCC (2019) Tier 2.

Os fatores de emissões nacionais (BR) (Figura 40 A e C) foram usados quando considerado os fatores de emissão direta de N₂O para urina (0,811%) e fezes (0,089%) obtidos em experimento de campo em Novo Repartimento (PA), fator de emissão de CH₄ entérico estimado por meio do modelo empírico desenvolvido por MEDEIROS et al. (2014) para raça Nelore do Brasil e o somatório das emissões de insumos e operações agrícolas apresentados na Tabela 33. Já os fatores de emissão IPCC (2019) Tier 2 (Figura 40 B e D) foram usados quando considerado o fator de emissão direta de N₂O de 0,6% para urina e fezes recomendado na metodologia Tier 2, Tabela 11.1, do (IPCC, 2019) para regiões de clima úmido, fator de emissão de CH₄ entérico a partir das equações disponibilizadas na metodologia Tier 2, item 10.3, do IPCC (2019) e o somatório das emissões de insumos e operações agrícolas apresentados na Tabela 33.

A redução das emissões por unidade de produto tem relação com a elevada eficiência dos sistemas intensificados para produção de carne por área. Essa eficiência pode ser justificada pela melhoria da fertilidade do solo que favorece melhores taxas de lotação (EUCLIDES, 2001; DIAS-FILHO, 2012), suplementação dos animais para manutenção e ganho de peso (CABRAL et al., 2008; THIAGO, 1999) e melhoramento genético e redução da idade de abate (EUCLIDES, 2001). É possível constatar na Figura 41 que o cenário 3 produz o dobro de carcaça por unidade de área (92 kg ha⁻¹) em relação ao cenário 1 (45 kg ha⁻¹), obtendo produtividade 104% e 74% superior aos cenários 1 e 2 respectivamente.

FIGUEIREDO et al. (2017) também observaram a redução das emissões por kg de carcaça comparando animais em pastagens manejadas e animais em pastagens degradadas. Os resultados obtidos por esses autores também estiveram atrelados a maior eficiência de produção de carne por unidade de área. BOGAERTS et al. (2017) pesquisaram 40 fazendas no bioma Amazônico, e verificaram que fazendas participantes de programas de sustentabilidade e intensificação da pecuária reduziram as emissões em 8,3 kg de CO₂e/kg de carcaça, quando comparadas com fazendas que não estavam incluídas nesses programas. Os resultados obtidos por esses autores representam uma mitigação de 19% das emissões de GEE por unidade de produto.

A Tabela 34 apresenta os valores percentuais da mitigação de GEE considerando a emissão de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) / kg de carcaça produzida. Para a estimativa realizada utilizando fatores de emissões de N₂O e CH₄ entérico obtidos no Brasil, a mitigação observada no cenário 2 em relação ao cenário 1 foi de 14,5%. A mitigação observada no cenário 3 foi de 25,1% e 12,5% em relação aos cenários 1 e 2 respectivamente. Na mesma Tabela percebe-se que a metodologia Tier 2 do (IPCC, 2019) apresenta uma mitigação maior do cenário 3 em relação aos demais cenários de produção. Entretanto, é preciso ressaltar que a utilização dessa metodologia também levou a valores mais altos das emissões de N₂O das excretas e CH₄ entérico em todos os cenários (Tabelas 30 e 32), provavelmente superestimando essas emissões (Figura 40 C e D).

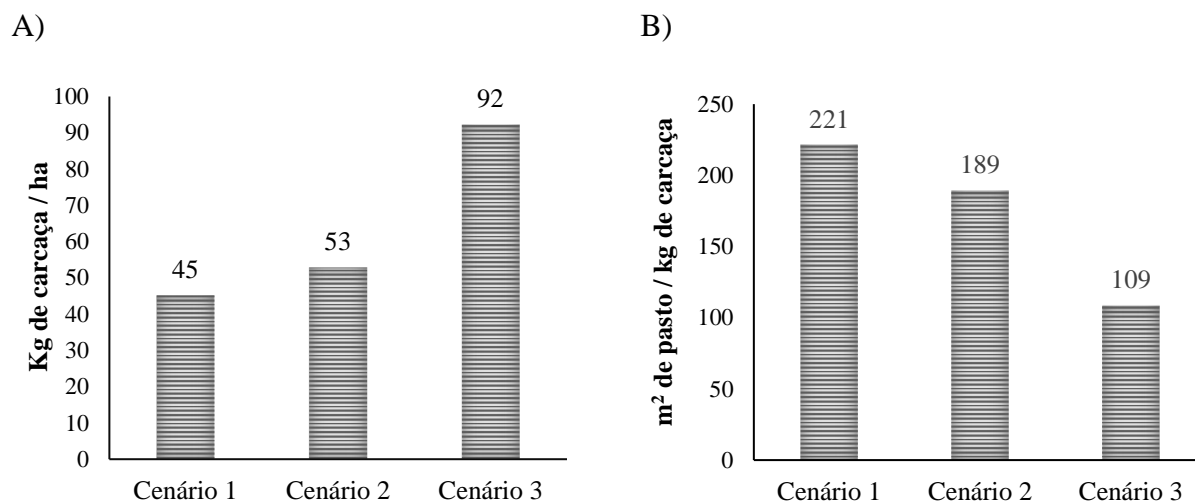


Figura 41. A) Produção anual de carcaça (kg) por unidade de área (ha) entre os cenários de produção. B) Eficiência de utilização da área de pastagem (m² de pasto) para a produção de um quilo de carcaça entre os cenários de produção.

Tabela 34. Potencial de mitigação das emissões entre os cenários de produção considerando a emissão de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) / kg de carcaça produzida, e a utilização de fatores de emissões nacionais (BR) e fatores de emissões do IPCC (2019) Tier 2.

¹ Mitigação utilizando fatores de emissões de N ₂ O e CH ₄ entérico nacionais (BR)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Cenário 1	-	-	-
Cenário 2	-14,5%	-	-
Cenário 3	-25,1%	-12,5%	-
² Mitigação utilizando fatores de emissões de N ₂ O e CH ₄ entérico do IPCC (2019) Tier 2			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Cenário 1	-	-	-
Cenário 2	-14%	-	-
Cenário 3	-31%	-20%	-

¹Quando considerado os fatores de emissão direta de N₂O para urina (0,811%) e fezes (0,089%) obtidos em experimento de campo em Novo Repartimento (PA), fator de emissão de CH₄ entérico estimado por meio do modelo empírico desenvolvido por MEDEIROS et al. (2014) para raça Nelore do Brasil e o somatório das emissões de insumos e operações agrícolas apresentados na Tabela 33.

²Quando considerado o fator de emissão direta de N₂O de 0,6% para urina e fezes recomendado na metodologia Tier 2, Tabela 11.1, do (IPCC, 2019) para regiões de clima úmido, Fator de emissão de CH₄ entérico a partir das equações disponibilizadas na metodologia Tier 2, item 10.3, do IPCC (2019) e o somatório das emissões de insumos e operações agrícolas apresentados na Tabela 33.

Nosso estudo constatou que os ganhos de produtividade e eficiência do cenário 2 em relação ao cenário 1 tendem a ser mais moderados, entretanto, é importante frisar que se trata de um cenário em etapas iniciais de um processo de intensificação, com períodos relativamente longos para reforma de pastagem (10 anos) e baixa utilização de insumos.

Em geral a pecuária brasileira apresenta baixa eficiência (DIAS-FILHO, 2017). Em nosso trabalho essas condições estiveram representadas principalmente no cenário 1. As diferenças quanto a mitigação das emissões de GEE (Figura 40, Tabela 34) e ganho de produtividade (Figura 41) do cenário 2 em relação ao cenário 1, demonstraram que as primeiras etapas de um processo de intensificação da pecuária de corte já são suficientes para que se comece a aferir melhorias nos índices zootécnicos do rebanho conforme observado por OLIVEIRA (2005) e DIAS-FILHO (2014) e também da mitigação das emissões de GEE por

unidade de produto conforme observado por CARDOSO et al. (2016a) e BOGAERTS et al. (2017).

Não foi contabilizado em nosso estudo o sequestro de carbono promovido por pastagens bem manejadas, que poderiam também contribuir para mitigação das emissões nos cenários 2 e 3. FIGUEIREDO et al. (2017) ao adotar uma taxa de sequestro de C de 0,44 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, constatou redução das emissões de 9,4 para 7,6 kg CO₂e / kg de peso vivo durante a fase de engorda de bovinos de corte. As estimativas obtidas por esses autores indicam que até mesmo taxas moderadas de sequestro de carbono, possuem grande potencial para mitigação das emissões de GEE. Uma avaliação consistente e de longo prazo do sequestro de carbono em pastagem nos cenários de produção descritos no estado do Pará poderiam confirmar que a mitigação das emissões promovida pelos cenários mais intensificados pode ser ainda maior.

Outro aspecto importante dessa análise é a redução da área necessária em cada cenário para produção de 1 kg de carcaça (Figura 41B). Em nosso estudo verificou-se que o cenário 2 utilizou uma área 14,5% menor que o cenário 1 e o cenário 3 apresentou uma redução de área de 50,7% e 42,3% em relação aos cenários 1 e 2 respectivamente (Figura 41B). CARDOSO et al. (2016a) observaram que a área para produção de carne pode ser reduzida em até 7 vezes quando se comparam cenários de baixa produtividade e cenários intensificados. Dessa forma, além das emissões de GEE, no bioma amazônico a intensificação da pecuária pode reduzir a pressão sobre áreas de vegetação nativa (FIGUEIREDO et al., 2017) e contribuir para a preservação da biodiversidade.

Por fim, o avanço de estudos na região que contribuam para obtenção de fatores de emissão de N₂O e CH₄ entérico nas condições edafoclimáticas locais são de grande relevância para as estimativas das emissões de GEE da pecuária conduzida na Região Amazônica. Além disso, o mapeamento de sistemas de produção e delimitação de cenários podem detectar condições específicas que também serão importantes para que estas estimativas sejam constantemente atualizadas e aprimoradas. Em um contexto em que a sociedade passa a priorizar a agropecuária de baixo carbono e a preservação dos recursos naturais, os estudos de emissões de GEE na pecuária tem grande valor científico e podem contribuir para o norteamento de políticas públicas e ações da iniciativa privada para redução das emissões da bovinocultura de corte no estado do Pará e Região Amazônica.

5 CONCLUSÕES

A utilização do fator para emissão direta de N₂O das excretas disponibilizado pela metodologia Tier 2 do IPCC (2019) para clima úmido superestima as emissões desse gás quando comparado aos fatores de emissão de N₂O obtidos nas condições locais de clima e solo do Pará.

A metodologia Tier 2 do IPCC (2019) aplicada a base de dados coletada na Região Amazônica resulta em maiores emissões de CH₄ entérico quando comparada a metodologia desenvolvida por MEDEIROS et al. (2014) a partir de dados da pecuária de corte no Brasil.

A pecuária no Pará pode ser caracterizada em 3 cenários principais: Cenário 1: sistema extensivo com uso do fogo e animais mestiços; Cenário 2: sistema extensivo melhorado, sem uso do fogo, rebanho nelore em fase de melhoramento genético e início das práticas de reforma da pastagem e suplementação animal; Cenário 3: Reformas de pastagem mais frequentes, utilização da integração lavoura-pecuária (ILP) para produção de suplementos, maior nível de suplementação dos animais, rebanho com genética acima da média da região, potencial para melhoria dos índices zootécnicos e produtividade.

A intensificação da produção de gado de corte promove o aumento das emissões de GEE por unidade de área, entretanto, reduz as emissões por kg de carcaça e aumenta a eficiência do uso da área para produção de carne, diminuindo a necessidade de abertura de novas áreas de produção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes - **Exportações**. 2021. Acessado em julho de 2021 em: < <http://abiec.com.br/exportacoes/>>

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – **Beef report - Perfil da Pecuária no Brasil**. 2020. Acessado em julho de 2021 em: < <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>>

ALBERTINI, T. Z.; MEDEIROS, S. R. de; GOMES, R. da C.; FELTRIN, G. B. Exigências nutricionais, ingestão e crescimento de bovinos de corte. In: MEDEIROS, S. R.; GOMES, R. C.; BUNGESTAB, D. J. (Org.). **Nutrição de bovinos de corte - Fundamentos e aplicações**. 1ed. Campo Grande: Embrapa, 2015, v. 1, p. 109-118.

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P. J; URQUIAGA, S. & BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 46, p. 12-19, 2012.

ALVES, L. W. R.; CARVALHO, E. J., M.; SILVA, L. G. T.; **Diagnóstico agrícola do município de Paragominas, PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 26 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Amazônia Oriental, 91).

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; SILVA, V. P.; MACEDO, M. C. M.; MEDEIROS, S. R.; FERREIRA, A. D.; GOMES, R. C.; ARAÚJO, A. R.; MONTAGNER, D. B.; BUNGENSTAB, D. J.; FEIJÓ, G.L.D. **Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 29 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).

ANDRADE, C. M. S. **Pastejo Rotacionado Tecnologia para Aumentar a Produtividade de Leite e a Longevidade das Pastagens**. Embrapa Acre, 2008. Acessado em maio de 2019 em: <http://iquiri.cpfac.embrapa.br/prodleite/pdf/pastejo_mauricio.pdf>

ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; VALENTIM, J. F.; PEREIRA, O. G. Productivity, utilization efficiency and sward targets for mixed pastures of marandugrass, forage peanut and tropical kudzu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 512-520, 2012.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, p. 6141–6160, 2013.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 153 – 169.

ASSIS, G. M. L.; VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. BRS Mandobi: a new forage peanut cultivar propagated by seeds for the tropics. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v. 1, p. 39-41, 2013.

ASSIS, G. M. L.; KRZYZANOWSKI, F. C.; AZEVEDO, H. N. **Superação de dormência em sementes de amendoim forrageiro cv. BRS Mandobi**. Rio Branco: Embrapa Acre. 2015, 7 p. (Circular técnica n° 70).

BALBINO, L. C.; MARTINEZ, G. B.; GALERANI, P. R. (Ed.). **Ações de transferência de tecnologia de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 56 p.

BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N.; BUNGESTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 31 – 48.

BARONI, C. E. S.; LANA, R. P.; MANCIO A. B.; QUEIROZ, A. C.; SVERZUT, C. B.; MENDONÇA, B. P. C. Desempenho de novilhos suplementados e terminados em pasto, na seca, e avaliação do pasto. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, p. 373-381, 2010.

BARNABÉ, M. C.; ROSA, B.; LOPES, E. L.; ROCHA, G. P.; FREITAS, K. R.; PINHEIRO, E. P. Produção e composição químico-bromatológica da *Brachiária brizantha* cv. Marandu adubada com dejetos líquidos de suínos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 3, p. 435-446, 2007.

BARNEZE, A. S.; MAZZETTO, A. M.; ZANI, C. F.; MISSELBROOK, T.; CERRI, C. C. Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil. **Atmospheric Environment**, 92, 394–397. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.046>. 2014.

BASTOS, T.X. **O estudo atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira**. Belém, IPEAN, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico,54).

BASTOS, T. X.; ROCHA, E. J. P. da; ROLIM, P.A.M.; DINIZ, T. D. de A. S.; SANTOS, E. C. R. dos; NOBRE, R. A. A.; CUTRIM, E. M. C.; MENDONÇA, R. L. D. de. O estado atual dos conhecimentos de clima da Amazônia brasileira com finalidade agrícola. In: **SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO**, 1., 1984, Belém, PA. Anais... Belém, PA: Embrapa- CPATU, 1986. v.1, p. 19-36. (Embrapa-CPATU. Documentos, 36).

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A. **Freqüências de chuva no estado do Pará no plano microrregional**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 26 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 50).

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; BERGAMASCHINE, A. F.; FABRICIO, J. A. Produtividade e composição bromatológica do capim-marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1629-1636, 2008.

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

BODDEY, R. M.; CARVALHO, I. N. O.; RESENDE, C. P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. **Proceedings of the International Conference on Forages in Warm Climates**. Lavras, Minas Gerais, Brazil (published on-line at http://www.neforufla.com.br/upimg/ck/files/Proceedings_CONFOR_2015.pdf) p. 103–140, 2015.

BOGAERTS, M.; CIRHIGIRI, L.; ROBINSON, I.; RODKIN, M.; HAJJAR, R.; JUNIOR, C. C.; NEWTON, P. Climate change mitigation through intensified pasture management: Estimating greenhouse gas emissions on cattle farms in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v.162, p. 1539-1550, 2017.

BORGES, A. D.; MORAES, G. J.; ITAVO, L. C. V.; ITAVO, C. C. B. F.; NIWA, M. V. G.; LEAL, E. S.; KOZERSKI, N. D.; FORMIGONI, G. M. Balanço de nitrogênio de bovinos de corte alimentados com dietas contendo diferentes níveis de ureia extrusada. In: **28º Congresso Brasileiro de Zootecnia / 55º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. 2018. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

BOUWMAN, A. F.; BOUMANS, L. J. M. Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized Fields. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, 1080, doi:10.1029/2001GB001812. 2002.

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

BUSTAMANTE, M. M. C.; NOBRE, C. A.; SMERALDI, R.; AGUIAR, A. P. D.; BARIONI, L. G.; FERREIRA, L. G.; LONGO, K.; MAY, P.; PINTO, A. S.; OMETTO, J. P. H. B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, p. 559–577, 2012.

BUTTERBACH-BAHL, K.; BAGGS, E. M.; DANNENMANN, M.; KIESE, R.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? **Philosophical Transactions of The Royal Society Biological**, v. 368. 2013. <<https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>>

CABRAL, L. da S.; ZERVOUDAKIS, J. T.; COPPEDE, C. M.; SOUZA, A. L.; CARAMORI JUNIOR, J. G.; POLIZEL NETO, A.; 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 Produção Animal**, v.9, n.2, p. 293-302, 2008.

CAMARGO, A. C; MONTEIRO NOVO, A. L. **Manejo intensivo de pastagens**. Embrapa Pecuária Sudeste – São Carlos, SP. 2011. Acessado em julho de 2021 em: <<http://www.cooperideal.com.br/arquivos/mip.pdf>>

CAMARÃO, A. P.; AZEVEDO, G. P. C.; VEIGA, J. B.; RODRIGUES FILHO, J. A. **Avaliação de pastagem de capim-braquiarião em pastejo rotacionado, Castanhal, Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 23 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 14).

CAMARÃO, A. P.; SOUZA FILHO, A. P. S. **Limitações e potencialidades do capim-braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu (A. Rich) Stapf.) para a Amazônia.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2005. 52 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 211).

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, Guarapuava (PR), v. 8, p. 963 - 982, 2012.

CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A. **Queima controlada no Pantanal.** Artigo de Divulgação na Mídia, Embrapa Pantanal, Corumbá-MS, n. 1, p.1-2, 2001.

CARDOSO, A. D. S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central.** 2012, 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

CARDOSO, A. S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B. J. R.; de CARVALHO, I. N. O.; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86-96, 2016a.

CARDOSO, A. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Effect of volume of urine and mass of feces on N₂O and CH₄ emissions of dairy-cow excreta in a tropical pasture. **Animal Production Science**, v. 58, p. 1079–1086, 2016b. <https://doi.org/10.1071/AN15392>

CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, S. C.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; BRITO, L. F.; MORGADO, E. da S.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104341, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104341>

CARRÉ, F.; MCBRATNEY, A. B. Digital terrain mapping. **Geoderma**, v.128, p.340–353, 2005.

CARVALHO, G. G. P. de; GARCIA, R.; PIRES, A. J. V.; DETMANN, E.; SILVA, R. R.; PEREIRA, M. L. A.; SANTOS, A. B. dos; PEREIRA, T. C. de J. Metabolismo de nitrogênio em novilhas alimentadas com dietas contendo cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 622-629, 2011.

CARNEVALLI, R. A. **Estratégias de manejo rotacionado de pastagens.** Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2009. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 58).

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 8, n. 2, p. 5-39, 2005.

CAVALCANTE, M. A. B.; PEREIRA, O. G.; VALADARES FILHO, S. C.; RIBEIRO, K. G.; PACHECO, L. B. B.; ARAÚJO, D.; LEMOS, V. M. C. Níveis de proteína bruta em dietas para

bovinos de corte: parâmetros ruminais, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 203-210, 2006.

CECCON, G.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Modalidades e métodos de implantação do consórcio milho-braquiária. In: CECCON, G. (Ed.). **Consórcio milho-braquiária**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 27-46.

CECATO, U.; PEREIRA, L. A. F.; JOBIM, C. C.; MARTINS, E. N.; BRANCO, A. F.; GALBEIRO, S.; MACHADO, A. O. Influência das adubações nitrogenada e fosfatada sobre a composição químico-bromatológica do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf cv. Marandu). **Acta Scientiarum Animal Sciences**. Maringá, v. 26, n. 3, p. 409-416, 2004.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP. **Índices de Exportação do Agronegócio 2020**. 2021. Acessado em julho de 2021 em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Export_2020.pdf>

CERRI, C.C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; RAUCCI, G. S.; de ALMEIDA CASTIGIONI, B.; MELLO, F. F.; CERRI, D. G.; CERRI, C. E. 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**. 122, p. 2593 - 2600. 2016.

CHIAVEGATO, M. B. **Fluxo de gases de efeito estufa no solo com deposição de fezes e urina de bovinos de corte na região Sudoeste da Amazônica**. 2010, 102 f. Dissertação (Mestrado Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COSTA, N. A.; CARVALHO, L. O. O. M.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B.; BRUNETTA, G. A. M. Suplementação alimentar de bovinos em pasto rotacionado intensivo de *Brachiaria brizantha*. In: n: CONGRESSO BRASILEIRO DE BUIATRIA, 4., Campo Grande, MS. **Resumos**. Campo Grande: [s.n.], 2001. Acessado em setembro de 2021 em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/405441/suplementacao-alimentar-de-bovinos-em-pastejo-rotacionado-intensivo-de-brachiaria-brizantha>>

COSTA, K. A. P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I. P. de; CUSTÓDIO, D. P.; SILVA, D. C. E. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira (UFG)**, Goiânia, v. 6, n.3, p. 187-193, 2005.

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V.; NEVES, B. P.; RODRIGUES, C.; SAMPAIO, F. M. T. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1197-1202, 2007.

COSTA, M. R. G. F.; CANDIDO, M. J. D.; CARNEIRO, M. S. S.; NETO, L. B. M.; MAGALHÃES, J. A.; COSTA, N. L. **Uso do fogo em pastagens naturais**. Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 5, n. 9, Ed. 156, Art. 1050, 2011.

COSTA e SILVA, L. F. **Mineral requirements for Nellore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nellore cows and suckling Nellore calves**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 125 p, 2015.

COSTA e SILVA, L. F.; ENGLE, T. E.; VALADARES FILHO, S. C.; ROTTA, P. P.; VILLADIEGO, F. A. C.; SILVA, F. A. S.; MARTINS, E. C.; SILVA, L. H. R.; PAULINO, M. F. Nellore cows and their calves during the lactation period. Performance, intake, milk composition, and total apparent nutrient digestibility. **Tropical Animal Health and Production**, v. 47, p. 735-741, 2015.

COSTA e SILVA, L. F.; VALADARES FILHO, S. C.; ROTTA, P. P.; LOPES, S. A.; PAULINO, P. V. R.; PAULINO, M. F. Exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e seus bezerras. In: VALADARES FILHO, S. C.; COSTA e SILVA, L. F.; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M.L.; PRADOS, L. F. (Org.). **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR CORTE**. 3ed. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica Ltda, 2016, p. 283-310.

CRISPIM, S. M. A.; BRANCO, O. D. **Aspectos Gerais das braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 25 p. – (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33).

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. D. J. M.; BRASIL, E. C.; SOMARRIBA, E.; DECHERT, G.; VELDKAMP, E.; RUSSO, R. O. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. EMBRAPA Amazonia Oriental, Bélem, PA (Brasil). 2007, 262 p.

DALMOLIN, M. L. **A urinálise no diagnóstico de doenças renais**. Seminário. Bioquímica do tecido animal. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Acessado em agosto de 2021 em: <https://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/magnus_urinalise.pdf>

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

DIAS-FILHO, M.B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.135-147.

DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. 2006. **Pastagens no trópico úmido**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2006, 30 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 241).

DIAS-FILHO, M. B. Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola. In: ZOOTECA NA AMAZÔNIA LEGAL, 1.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECA, 20., 2010, Palmas. **Sustentabilidade e produção animal**: anais das palestras. Araguaiana: Universidade Federal de Tocantins: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2010. p. 131-145.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. rev. atual. e ampl. Belém, PA, 2011. 215 p.

DIAS-FILHO, M. B. **Desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 34 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 382).

DIAS-FILHO, M. B. **Formação e manejo de pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 9 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 235).

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

DIAS-FILHO, M. B. **Manejo Profissional da Pastagem: Fundamento para uma Pecuária Empresarial**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 30 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 431).

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space on land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gley soil. **European Journal of Soil Science**, n. 52. p. 667-673. 2001.

DONG, R. I.; ZHAO, G. Y.; CHAI, L. L.; BEAUCHEMIN, K. A. Prediction of urinary and fecal nitrogen excretion by beef cattle. **Journal Animal Science**, v. 92, p. 4669-4681. 2014.

EMBRAPA - **Queimar pastagem é sinônimo de prejuízo (2002)**. Acessado em abril de 2019: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/17931970/queimar-pastagem-e-sinonimo-de-prejuizo>>

EMBRAPA. **Mapas de solos e de aptidão agrícola das áreas alteradas do Estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental (2016), Belém (PA). Acesso em abril de 2019 em: <<https://www.embrapa.br/documents/1354300/0/Mapas+de+solos+e+aptid%C3%A3o+agr%C3%ADcola+das+%C3%A1reas+alteradas+do+Par%C3%A1/80b10a04-8d10-419a-918d-8b22773ee44a>>

EPE, 2015. **Balço Energética Nacional 2014**. Acesso em abril de 2018 em: <http://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf>

EUCLIDES, V. P. B. **Alternativas para Intensificação da Produção de Carne Bovina em Pastagem**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2000. v. 1. 64 p.

EUCLIDES, V. P. B. Produção intensiva de carne bovina em pasto. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2., 2001, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 55-82.

EUCLIDES FILHO, K.; CORREA, E. S.; EUCLIDES, V. P. B. **Boas Práticas na Produção de Bovinos de Corte**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte. 2002, 25 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos 129).

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALLE, C. B. do; BARBOSA, R. A.; GONÇALVES, W. V. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1805-1812, 2008.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALLE, C. B. do; DIFANTE, G. S.; BARBOSA, R. A.; CACERE, E. R. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 98-106, 2009.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; NANTES, N. N. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 808-818, 2014.

FALESI, I. C. **Zoneamento Agrícola da Amazônia (1º aproximação)**. Belém, PA: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (IPEAN), 1972. p. 54. (Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte, Boletim Técnico N° 54).

FALESI, I. C. O solo na Amazônia e sua relação com a definição de sistemas de produção agrícola. p. 2.1 -2.17 In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Reunião do Grupo Interdisciplinar de Trabalho sobre Diretrizes de Pesquisa Agrícola para a Amazônia (Trópico úmido)**, Brasília, 1974, vol. 1. EMBRAPA, Brasília.

FALESI, I. C. **Ecossistema de Pastagem Cultivada na Amazônia Brasileira**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1976, 193 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim Técnico, N° 1. Belém).

FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C.; DUTRA, S. **Consequências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste paraense**. Belém, PA: EMRAPA-CEPATU, 1980. p. 49. (EMRAPA-CEPATU. Boletim de Pesquisa, 14).

FAO. **The state of food and agriculture**. Rome: FAO, 2009. Acessado em agosto de 2019 em: <<http://bit.ly/dcsAFD>>

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - **O crescimento populacional e a questão alimentar**. 2014. Acessado em julho de 2016 em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/lisbon/docs/O_Pa%C3%ADs_25_7_2014.pdf>

FAPESPA - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. **Boletim Agropecuário do Pará**. 2017. Acessado em fevereiro de 2018 em: <<http://www.fapespa.pa.gov.br/produto/boletins/8?&mes=&ano=2017>>

FEARNSIDE, P. M. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia Brasileira: consequências para a sustentabilidade de produção bovina. **ACTA Amazônica**, 10(1): p. 119-132, 1980.

FERNANDES, P. C. C.; GRISE, M. M.; ALVES, L. W. R.; SILVEIRA FILHO, A.; DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico e modelagem da integração lavoura-pecuária na Região de Paragominas, PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 33 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 327).

FERNANDES, P. C. C.; FREITAS, D. R.; CHAVES, S. S. F.; SILVA, A. V.; ALVES, L. W. R.; SILVEIRA FILHO, A. Consolidação das pesquisas em integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. In: **46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Maringá/PR, 2009.

FERREIRA, G. D. G.; VIANA, R. B.; CARDOSO, E. C.; ARAÚJO, C. V.; MELO, W. O.; MONTEIRO, B. M.; SOUZA, D. C. Disponibilidade quali-quantitativa da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastejada por búfalos no Pará. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambiental**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 45-50, 2012.

FIGUEIREDO, E. B.; JAYASUNDARA, S.; de OLIVEIRA BORDONAL, R.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; LA SCALA Jr., N. Greenhouse gas balance and carbono footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v.142, p. 420 – 431, 2017.

FONSECA, M. A. **Exigências nutricionais de vacas e bezerros Nelore, do Nascimento a desmama**. Viçosa, MG: UFV, 2009. 87 p. dissertação (mestrado em zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2009.

FURTADO, A. M. M.; PONTE, F. C. Mapeamento de Unidades de Relevo do Estado do Pará. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 2, n. 2, p. 56 - 67, 2013.

FREIRE, L. R. **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 1. ed. Seropédica: Editora universidade Rural, 2013. v. 1. 430 p.

GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. Z.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; CRAVO, M. S.; CARVALHO, E. J. M.; RODRIGES, T. E. Solos do Estado do Pará. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado do Pará**. 2. ed. Belém: EMBRAPA AMAZONIA ORIENTAL, 2020. p. 25-46.

GARCIA, J.; EUCLIDES, V. P. B.; ALCALDE, C. R.; DIFANTE, G. S.; MEDEIROS, S. R. Consumo, tempo de pastejo e desempenho de novilhos suplementados em pastos de *Brachiaria decumbens*, durante o período seco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2095-2106. 2014.

GOMES, R. C.; NUÑEZ, A. J. C.; MARINO, C. T.; MEDEIROS, S. R. Estratégias Alimentares para gado de corte: suplementação a pasto, semiconfinamento e confinamento. In: MEDEIROS, S. R.; GOMES, R. C.; BUNGESTAB, D. J. (Org.). **Nutrição de bovinos de corte - Fundamentos e aplicações**. 1ed.Campo Grande: Embrapa, 2015, v. 1, p. 119-140.

GOMES, R. C.; BERNDT, A.; MACEDO, M. C. M.; ALMEIDA, R. G. Enteric methane emission of Nelore cattle in extensive grazing or integrated systems. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS, 2015, Brasília, DF. **Proceedings...** Brasília, DF: Embrapa, 2015. 1 p.

GONÇALVES, C. A.; CAMARÃO, A. P.; SIMÃO NETO, M.; DUTRA, S. Consorciação de gramíneas e leguminosas forrageiras e fertilização fosfatada no Nordeste paraense, Brasil. **Pasturas Tropicales**, v. 19, n. 3, p. 45-50, 1997.

GUARDA, V. A.; QUEIROZ, F. M.; MONTEIRO, H. C. Diferimento de pastagens: ajustando a alimentação do rebanho para a época seca do ano. **Fronteira Agrícola**, nº 8, p.1-2, 2015.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Adv. Agron.** v. 49, p. 119–199, 1993. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60794-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60794-4)

HUTCHINNGS, N. J.; SOMMER, S. G.; JARVIS, S. C. A model of ammonia volatilization from a grazing livestock farm. **Atmospheric Environment**, v. 30, p. 589-599, 1996.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Censo Agropecuário 2006**. Acessado em julho de 2020 em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Produção da pecuária municipal**. 2016. Acessado em fevereiro de 2018 em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?&t=downloads>>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da pecuária municipal (2020)**. 2020a. Acessado em julho de 2020 em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?edicao=29151&t=resultados>>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2020b. Acessado em julho de 2021 em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/>>

IDESP - Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará. **Boletim do desmatamento e focos de calor no Pará, Edição: 06/14**. Acessado em abril de 2019 em: <<http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/524.pdf?id=1558211448>>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Mapa de ocorrências de desmatamento identificadas no PRODES 2020**. 2021a. Acessado em julho de 2021 em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5811>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – **PRODES desmatamento, 2021**. 2021b. Acessado em julho de 2021 em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates>

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos**. 2019. Acessado em agosto de 2021 em: <<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>>

IPCC, 2006. **Guideline for National Greenhouse Gas Inventories**. Acessado em agosto de 2016 em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl.2006>>

IPCC, 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Acessado em julho de 2021 em: <<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>>

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais - efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, 2003.

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

JENSEN, E. S.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M.; GRESSHOFF, P. M.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; ALVES, B. J. R.; MORRISON, M. J. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p.329–364, 2012.

LANDAU, E. C.; CRUZ, R. K. da; HIRSCH, A.; PIMENTA, F. M.; GUIMARÃES, D. P. **Varição Geográfica do Tamanho dos Módulos Fiscais no Brasil**. Sete Lagoas (MG): Embrapa Milho e Sorgo. 2012, 199 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 146).

LEMES, P. R.; GUEDES, C. Crescimento eficiente do animal pode aumentar rentabilidade. **Visão Agrícola**, nº 3, p. 37-39, 2005.

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

LESSA, A. C. R. **Produção de óxido nitroso e volatilização de amônia derivados da aplicação de urina e fezes bovinos em pastagens sobre Latossolo em Goiás**. 2011, 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; REULE, C. A.; ZHANG, F. S. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 2392-2370, 2007.

LOPES, F. B.; MAGNABOSCO, C. U.; de SOUZA, F. M.; de ASSIS, A. S.; BRUNES, L. C. Análises de dados longitudinais em bovinos Nelore Mocho por meio de modelos não lineares. **Archivos de Zootecnia**. 65 (250): p. 123-129, 2016.

LUCCI, C. S.; NOGUEIRA FILHO, J. C. M. ; HERLING, V. R. ; GOMIDE, C. A. ; LIMA, C. G. . Fenos de Capim de Rhodes (*Chloris gayana*) Ou de Alfafa (*Medicago sativa*) Para Bezerros Em Dietas Com Dois Níveis Proteicos. I. Digestibilidade. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 26, n.2, p. 259-266, 1989.

LUCHIARI FILHO, A. *Pecuária da carne bovina*. São Paulo, 2000. 134 p.

MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; FREITAS, A. R.; ROMANO, M. A.; NOVAES, N. J. Eficiência de utilização de nutrientes em novilhas das raças Canchim e Nelore e cruzadas Canchim-Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, n.6, p. 1375-1381, 1999.

MARANHÃO, C. M. A.; SILVA, C. C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V. Produção e composição químico-bromatológica de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. Maringá, v. 31, n. 2, p. 117-122, 2009.

MARTHA JUNIOR, G. B.; BARIONI, L. G.; VILELA, L.; VASCONCELLOS, A. de O. **Área do piquete e taxa de lotação no partejo rotacionado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003 (Comunicado técnico 101. ISSN 1517-1469. Embrapa).

MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, p. 431-438, 2010.

MATHEWS, B. W.; SOLLENBERGER, L. E. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: soil considerations. In: JOOST, R.; ROBERTS, C. A. **Nutrient Cycling in Forage Systems**. Columbia, p. 213-229, 1996.

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 Biol. Biochem.** v. 76, p. 242-248, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.026>

MAZZETTO, A. M.; FEIGL, B. J.; SCHILS, R. L. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C.C. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, v. 175, p. 101-112, 2015.

MCTI, 2014. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 2014. Acessado em agosto de 2018 em: <<http://www.mcti.gov.br/documents/10179/35540/Estimativas+Anuais+de+Emiss%C3%B5es+de+Gases+do+Efeito+Estufa+no+Brasil/aab059b1-8f09-4f1f-a06d-14a4b01896a8>>

MCTI, 2016. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **3º Comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. 2016. Acessado em agosto de 2019 em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/Comunicacao_Nacional.html>

MCTI, 2020. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. 2020. Relatório de referência: Setor Agropecuária, Subsetores Solos manejados, calagem e aplicação de ureia. MCTI, Brasília, DF. 2020. 148 pp. Acessado em agosto de 2020 em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>

MEDEIROS, L. T.; PINTO, J. C.; CASTRO, E. M.; REZENDE, A. V.; LIMA, C. A. Nitrogênio e as características anatômicas, bromatológicas e agronômicas de culturas de *Brachiaria brizantha*. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 35, n. 3, p. 598-605, 2011.

MEDEIROS, S. R.; BARIONI, L. G.; BERNDT, A.; FREUA, M. C.; ALBERTINI, T. Z.; COSTA JUNIOR, C.; FELTRIN, G. Modeling enteric methane emission from beef cattle in Brazil: a proposed equation performed by principal component analysis and mixed modeling multiple regression. In: LIVESTOCK, CLIMATE CHANGE AND FOOD SECURITY CONFERENCE, 2014, Madri. **Proceedings...** Madri: Livestock, Climate Change and Food Security, 2014. p. 37.

MEIRELLES, P. R. L.; MOCHIUTTI, S. **Formação de pastagens com capim Marandú (*Brachiaria brizantha* cv Marandú) nos cerrados do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá. 1999. 3 p. (Embrapa Amapá. Recomendações Técnicas, 07).

MENEZES, A. C. B.; VALADARES FILHO, S. C.; COSTA e SILVA, L. F.; PACHECO, M. V. C.; PEREIRA, J. M. V.; ROTTA, P. P.; ZANETTI, D.; DETMANN, E.; SILVA, F. A. S.; GODOI, L. A.; RENNO, L. N. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nelore bulls? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 223, p. 239-249, 2016.

MENDONÇA, S. S.; CAMPOS, J. M. S.; VALADARES FILHO, S. C.; VALADARES, R. F. D.; SOARES, C. A.; LANA, R. P.; QUEIROZ, A. C.; ASSIS, A. J.; PEREIRA, M. L. A. Balanço de compostos nitrogenados, produção de proteína microbiana e concentração plasmática de uréia em vacas leiteiras alimentadas com dietas à base de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.493-503, 2004.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development. **Geoderma**, v. 90, p. 3-21, 1999.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development: II. A two-dimensional model incorporating chemical weathering. **Geoderma**, v. 103, p. 161-180, 2001.

MORETTI, M. H.; REIS, R. A.; CASAGRANDE, D. R.; RUGGIERI, A. C.; OLIVEIRA, R. V.; BERCHIELLI, T. T. Suplementação proteica energética no desempenho de novilhas em pastejo durante a fase de terminação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 606-612, 2011.

MOURA, R.; SANTOS, D.; VERÍSSIMO, A.; NUNES, S.; BRITO, B.; BARRETO, P.; MARTINS, H.; CELENTANO, D. **Desmatamento ZERO no Pará: desafios e oportunidades**. Belém, PA: Imazon, 84 p. 2017.

MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil Spatial Variability. In: SUMMER, M.E. **Handbook of Soil Science**. New York: CRC Press, p. A321-A351, 1999.

NICODEMO, M. L. F. **Cálculo de misturas minerais para bovinos**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 25 p. 21 cm. (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN 1517-3747; 109).

NOBRE, P. R. C.; ROSA, A. N.; SILVA, L. O. C.; EVANGELISTA, S. R. M. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas com diferentes frequências de pesagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 1027-1037, 1987.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. **Açaí**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 137 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistema de produção, 4).

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 334 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. ISBN: 85-86764-08-6).

NOGUEIRA, É.; OLIVEIRA, L. O. F.; NICACIO, A. C.; GOMES, R. C.; MEDEIROS, S. R. Nutrição Aplicada à Reprodução de bovinos de corte. In: MEDEIROS, S. R.; GOMES, R. C.; BUNGESTAB, D. J. (Org.). **Nutrição de bovinos de corte - Fundamentos e aplicações**. 1ed. Campo Grande: Embrapa, 2015, v. 1, p. 141-156.

OLIVEIRA, A. S.; VALADARES, R. F. D.; VALADARES FILHO, S. C.; CECON, P. R.; RENNÓ, L. N.; QUEIROZ, A. C. de; CHIZZOTTI, M. L. Produção de proteína microbiana e estimativas das excreções de derivados de purinas e de uréia em vacas lactantes alimentadas com rações isoprotéicas contendo diferentes níveis de compostos nitrogenados não-protéicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n.5, p. 1621-1629, 2001.

OLIVEIRA, P. P. A. **Recuperação de pastagens degradadas para sistemas intensivos de produção de bovinos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. 2005, 23 p. (Circular Técnica n° 38).

OLIVEIRA, R. L.; BARBOSA, M. A. A. F.; LADEIRA, M. M.; SILVA, M. M. P.; ZIVIANI, A. C.; BAGALDO, A. R. Nutrição e Manejo de Bovinos de Corte na Fase de Cria. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v 7, n. 1, p. 57-58, 2006.

OLIVEIRA, P. P. A. **Dimensionamento de piquetes para bovinos leiteiros, em sistemas de pastejo rotacionado**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 8 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico, 65).

PARK, S. J.; MCSWEENEY, K.; LOWERY, B. Identification of the spatial distribution of soils using a process-based terrain characterization, **Geoderma**, v.103, p. 249–272, 2001.

PAREDES, D. da S.; ALVES, B. J. R.; DOS SANTOS, M. A.; BOLONHEZI, D.; SANT'ANNA, S. A. C.; URQUIAGA, S.; LIMA, M. A.; BODDEY, R. M. Nitrous Oxide and Methane Fluxes Following Ammonium Sulfate and Vinasse Application on Sugar Cane Soil. **Environmental Science & Technology**, v. 49, p. 150902094222003-11217, 2015.

PAULINO, P. V. R.; FONSECA, M. A.; HENRIQUES, L. T.; VALADARES FILHO, S. de C.; DETMANN, E. exigências nutricionais de vacas e bezerros Nelore. In: **Exigência Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados – BR- CORTE**, 2ª ed. Viçosa, MG: UFV, Suprema Gráfica Ltda. 2010. 193 p.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; SILVA, S. C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 42, p. 281-287. 2007.

PEREIRA, K. P.; VERAS, A. S. C.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V.; MARQUES, K. A.; FOTIUS, A. C. A. Balanço de nitrogênio e perdas endógenas em bovinos e bubalinos alimentados com níveis crescentes de concentrado. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 29, p. 433-440, 2007.

POSSAMAI, A. J.; FREIRIA, L. B.; ZERVOUDAKIS, J. T.; MELO, A. C. B.; ROSA e SILVA, P. I. J.; AZEVEDO, J. B. Sistema de cria x exigências nutricionais: fêmeas de corte e bezerros do nascimento ao desmame. **PUBVET**, Londrina, V. 8, N. 11, Ed. 260, Art. 1727, junho, 2014.

PRADOS, L. F.; CHIZZOTTI, M. L.; VALADARES FILHO, S. C.; CHIZZOTTI, F. H. M.; ROTTA, P. P.; COSTA E SILVA, L. F. Environmental management and prediction of nitrogen and phosphorus excretion by beef cattle. In: VALADARES FILHO, S. C.; COSTA e SILVA, L. F.; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M.L.;

PRADOS, L. F. (Org.). **Nutrient Requirements of Zebu and Crossbred Cattle - BR-CORTE**. 3ed. Visconde do Rio Branco: Suprema Grafica, 2016, p. 299-314.

QUEIROZ, M. F. S.; BERCHIELLI, T. T.; MORAIS, J. A. S.; MESSANA, J. D.; MALHEIROS, E. B.; RUGGIERI, A. C. Digestibilidade e parâmetros ruminais de bovinos consumindo *Brachiaria brizantha* cv. marandu. **Archivos de zootecnia**. v. 60, p. 997-1008. 2011.

RANZANI, G. Alguns solos da Transamazônica na região de Marabá. **ACTA AMAZONICA**, 8 (3), p. 333-355, 1978.

REIS JUNIOR, F. B.; TEIXEIRA, K. R. S.; REIS, V. M.; **Fixação biológica de nitrogênio associadas a pastagens de braquiárias e outras gramíneas forrageiras**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2002, 27 p. (Documentos n° 52).

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; SARRAZIN, M.; GRIMALDI, M. Variação da composição granulométrica e orgânica do solo em uma topossequência da microrregião de Marabá-PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 3, p. 33-44, 2007.

REZENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; PINTO, J. C.; BORGES, A. M. F. MUNIZ, J. A.; ANDRADE, I. F.; EVANGELISTA, A. R. Estrutura do pasto disponível e do resíduo pós-pastejo em pastagens de capim-cameroon e capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1742-1749, 2008.

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Rev. ciênc. agrár.**, Belém, n. 52, p. 37-47, 2009.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. **Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia**. Nova Economia, Belo Horizonte, 19 (1), p. 41-66, 2009.

RIBEIRO, R. S.; RODRIGUES, J. P. P.; MAURICIO, R. M.; BORGES, A. L. C. C.; REIS e SILVA, R.; BERCHIELLI, T. T.; VALADARES FILHO, S. C.; MACHADO, F. S.; CAMPOS, M. M.; FERREIRA, A. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; AZEVÊDO, J. A. G.; SANTOS, R. D.; TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R. Predicting enteric methane production from cattle in the tropics. **Animal**. v. 14, p 438-452. 2020.

ROCHA, E. O.; FONTES, C. A. de A.; PAULINO, M. F.; PEREIRA, J. C.; LADEIRA, M. M. Influência da idade de desmama e de início do fornecimento do volumoso a bezerros sobre a digestibilidade de nutrientes e o balanço de nitrogênio, pós-desmama. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, p. 143-147, 1999.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; JÚNIOR, R. C. O.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. **Caracterização e Classificação dos Solos do Município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 51 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 162).

RODRIGUES, A. M.; CECATO, U.; FUKOMOTO, N. M.; GALBEIRO, S.; SANTOS, G. T. dos; BARBEIRO, L. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 990-997, 2008.

ROWLINGS, D.W.; GRACE, P.R.; SCHEER, C.; LIU, S. Rainfall variability drives interannual variation in N₂O emissions from a humid, subtropical pasture. **Science of the Total Environment**, 512–513, p. 8–18, 2015.

RUVIARO, C. F.; de LE IS, C. M.; LAMPERT, V. N.; BARCELLOS, J. O. J.; DEWES, H. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 435 – 443, 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, p. 513-544. 2004.

SANTOS, P. M.; CORRÊA, L. de A.; BALSALOBRE, M. A. A. **Guia prático para a implantação de sistemas de pastejo rotacionados para gado de corte**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 10 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 43).

SANTOS, L. C.; BONOMO, P.; SILVA, C. C. F.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M.; PATÊS, N. M. S. Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens* submetidas a diferentes adubações. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 4, p. 856-866, 2008.

SALES, M. F. L.; PAULINO, M. F.; PORTO, M. O.; VALADARES FILHO, S. C.; ACEDO, T. S.; COUTO, V. R. M. Níveis de energia em suplementos múltiplos para terminação de novilhos em pastagem de capim-braquiária no período de transição águas-seca. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.37, n.4, p. 724-733, 2008.

SEDAP – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca. **Panorama Pecuário do Pará 2015/2019 – Efetivo Bovino**. 2020. Acessado em julho de 2021 em: <<http://www.sedap.pa.gov.br/file/3211/download?token=CqQTpVrx>>

SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2016a. Acessado em maio de 2019 em: <<http://seeg.eco.br/>>

SEEG & OCF. 2016b. **Análise das Emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas Implicações para Políticas Públicas e a Contribuição Brasileira para o Acordo de Paris**. *Documento Síntese*. 85 p. Acessado em maio de 2019 em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/WIP-16-09-02-RelatoriosSEEG-Sintese.pdf>>

SEIBERT, J.; STENDAHL, J.; SØRENSEN, R. Topographical influences on soil properties in boreal forests. **Geoderma**, v.141, p.139-148, 2007.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Bovinocultura: manejo e alimentação de bovinos de corte em semiconfinamento**. Brasília: SENAR, 2018. 40 p; il. 21 cm (Coleção SENAR, 233).

SILVA, N. A. M.; AQUINO, L. H.; SILVA, F. F. e; OLIVEIRA, A. I. G. de. Curvas de crescimento e influência de fatores não-genéticos sobre as taxas de crescimento de bovinos da raça nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 647-654, 2004.

SILVA, L. I. D. da; CARNEIRO, M. C.; EMÍDIO, V. S.; HENRIQUE JUNIOR, S. S.; MONTEIRO, M. I. C. Determinação das formas de nitrogênio e nitrogênio total em rochas-reservatório de petróleo por destilação com arraste de vapor e método do indofenol. **Química Nova (Impresso)**, v. 29, p. 46-51, 2006.

SILVA, A. L. da. **Desempenho e exigências nutricionais de energia e proteína para bezerros mestiços Holandês×Gir lactentes sob diferentes planos de alimentação**. 2013, 58 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

SILVA, Á. C.; FIGUEIREDO, M. P.; BONOMO, P.; Pereira, M. L. A; LUZ, Y. S.; SANTOS, E. J. Microbial protein synthesis and nitrogen metabolism in cows bred on tropical pasture and fed on cassava root and corn. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 36, p. 185-192, 2014.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica de um Latossolo Amarelo sob sistemas integração lavoura-pecuária-floresta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n.2, p.144-157, 2015.

SILVA, J. L.; RIBEIRO, K. G.; HERCULANO, B. N.; PEREIRA, O. G.; PEREIRA, R. C.; SOARES, L. F. P. Massa de forragem e características estruturais e bromatológicas de cultivares de *Brachiaria* e *Panicum*. **Ciência Animal Brasileira**. Goiânia, v.17, n.3, p. 342-348, 2016.

SILVA, G. M. da; SILVA, F. F. da; TEXEIRA, F. A.; SOUZA, D. D. de; MENESES, M. de A.; PORTO JUNIOR, A. F.; PIMENTEL, L. R.; RODRIGUES, E. S. O.; VIANA, P. T.; ALMEIDA, D. S. da S.; BEZERRA, A. R. A.; QUEROZ, A. R. R. Comportamento ingestivo, síntese microbiana e balanço de nitrogênio de novilhas nelore suplementadas com glicerina bruta. **Competência Técnica e Responsabilidade Social e Ambiental nas Ciências Agrárias** 2. 01ed.: Atena Editora, 2020, p. 188-206.

SOBRINHO, F. S.; LÉDO, F. J. da S.; KOPP, M. M. Estacionalidade e estabilidade de produção de forragem de progênes de *Brachiaria ruziziensis*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 685-691, 2011.

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

TERAMOTO, E. R.; LEPSCH, I. F.; VIDAL-TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do Ribeirão Marins (Piracicaba-SP). **Scientia Agrícola**, v.58, n.2, p.361-371, 2001.

THIAGO, L. R. L. **Suplementação de bovinos a pasto (aspectos práticos para o seu uso na manutenção ou ganho de peso)**. Embrapa Gado de Corte - CNPGC. Campo Grande MS. 1999. Acessado em maio de 2021 em <<https://old.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/naoseriadas/suplementthiago/>>

THOMPSON, J. A.; PENA-YEWTUKHIW, E. M.; GROVE, J. H. Soil–landscape modeling across a physiographic region: Topographic patterns and model transportability. **Geoderma**, v.133, p.57–70, 2006.

TORQUIST, C. G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional: aplicação do Modelo Century e sistemas de informações geográficas**. 2007, 156 f. Tese (Doutorado – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio de Grande do Sul, Porte Alegre.

VALLE, E. R. do. **Boas práticas agropecuárias: bovinos de corte: manual de orientações**. 2º ed. rev. ampl. - Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 69 p. 2011. Acessado em agosto de 2016 em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/897243/boas-praticas-agropecuarias-bovinos-de-corte-manual-de-orientacoes>>

VALE, P. M.; ANDRADE, D. C. **Comer carne e salvar a Amazônia? A produtividade da pecuária em Rondônia e sua relação com o desmatamento**. *Estud. Soc. e Agric.*, Rio de Janeiro, vol. 20, n. 2, p. 381-408, 2012.

VEIGA, J. B; TOURRAND, J.-F.; QUANZ, D. **A pecuária na fronteira agrícola da amazônia: o caso do município de Uruará, PA, na região da Transamazônica**. Belém, PA: EMBRAPA-CEPATU, 1996, 61 p. (EMBRAPA-CEPATU. Documentos, 87).

VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R.; CARVALHO, E. J. M.; ALVES, L. W. R.; AZEVEDO, C. M. B. C.; FILHO, A. S.; OLIVEIRA-JUNIOR; M. C. M. O.; FERNANDES, P. C. C. Desenvolvimento do Componente Agrícola e da Espécie Paricá (*Shizolobium amazonicum*) em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Município de Paragominas-PA. In: **Workshop Integração Lavoura-Pecuária-Floresta da Embrapa Rondônia**, 1., 2010, Vilhena.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S.; COOPER, M. Pedogênese de uma sequência Latossolo-Podzólico na borda de um platô na depressão periférica paulista. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 909-921, 1999.

VIEIRA, P. A. S.; AZEVÊDO, J. A. G.; SILVA, F. F. da; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; SANTOS, A. B. dos; SOUZA, L. L.; SANTOS, R. D. dos. Parâmetros ruminais e balanço de nitrogênio em bovinos alimentados com silagem da raiz de mandioca. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, p. 883-890, 2017.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. **Benefícios da integração entre lavoura e pecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 21 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, 42).

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

WALKER, R.T.; HOMMA, A. K. O.; CONTO, A. J. de; CARVALHO, A. de A.; FERREIRA, C. A. P.; SANTOS, A. I. M. dos; ROCHA, A. C. P. N. da; OLIVEIRA, P. M. de; PREDRAZA, C. D. R. **As contradições do processo de desenvolvimento agrícola na Transamazônica**.

Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 117 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 93).

WALDRIP, H. M.; TODD, R. W.; COLE, N. A. Prediction of nitrogen excretion by beef cattle: A meta-analysis. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 4290-4302, 2013.

WEST, T. O.; MARLAND, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 217–232, 2002.

ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COTA, F. S.; CARVALHO, A. M. **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 81 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 265).

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; FERREIRA, D. J. Possíveis causas de degradação de pastagens. **Revista Eletrônica de Veterinária REDVET**, v. 6, n° 11. 2005. ISSN 1695-7504.


ZIMMER, A. H.; EUCLIDES FILHO, K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. In: **Simpósio Internacional sobre produção animal em pastejo**, 1997, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 1997. p. 349-379.

ZONTA, A.; ZONTA, M. C. de M. PASTEJO ROTACIONADO 1: PONTOS CRÍTICOS NA IMPLANTAÇÃO. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 10, n. 2, 2013.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185-195, 2012.

7 ANEXOS

7.1 Questionário Aplicado nas Fazendas



Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Instituto de Agronomia - Departamento de Solos
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

FORMULÁRIO DE PESQUISA DE CAMPO

Doutorando: CPGA-CS: Valfredo Almeida Chaves
 Orientador: Bruno José Rodrigues Alves

Formulário N° _____ Data: _____

1) Entrevistado (a): _____
 Função na Fazenda: Proprietário Outro _____
 Contato: _____
 Município: _____ Estado: _____
 Endereço: _____
 Coordenadas Geográficas: _____
 Relevo da Propriedade: Plano - Declividade menor que 3% Suave Ondulado - Declividade de 3 a 8%
 Ondulado - declividade de 8 a 20% Forte Ondulado - declividade de 20 a 45% Área apta para grãos (%): _____
 Obs: _____

2) Área de pasto da Propriedade Akq: _____ ha: _____ 0
 Pastagem Extensiva (E): Akq: _____ ha: _____ 0 Idade: _____ Nível de Degradação: _____
 Pastagem Reformada (R1): Akq: _____ ha: _____ 0 Idade: _____
 Reforma e Rotação (R2): Akq: _____ ha: _____ 0 Idade: _____ N° de Piquetes: _____
 Integ. Lavoura Pecuária (ILP): Akq: _____ ha: _____ 0 Idade: _____
 Obs: _____

3) Calagem utilizada na reforma ou manutenção da pastagem: R1 R2
 Corretivo: _____ Dose: _____
 Área (Akq): _____ Área (ha): _____ 0 PRNT: _____ Última calagem (ano) _____ Frequência: _____
 Critério: Análise de solo Indicação de Técnicos / Vizinhos Critério do Produtor
 Obs: _____

4) Adubação utilizada na reforma ou manutenção da Pastagem: R1 R2
 NPK _____ Dose: _____ Akq: _____ ha: _____ 0
 N _____ Dose: _____ Akq: _____ ha: _____ 0
 P _____ Dose: _____ Akq: _____ ha: _____ 0
 K _____ Dose: _____ Akq: _____ ha: _____ 0
 Outro _____ Dose: _____ Akq: _____ ha: _____ 0
 Última adubação (ano): _____ Frequência da adubação: _____
 Critério: Análise de solo Indicação de Técnicos / Vizinhos Critério do Produtor
 Obs: _____

5) Forrageiras utilizadas / área ocupada (akq) Mistura de forrageiras: Sim Não % VC _____ Incrustaç. Sim Não
 Pastagem Extensiva (E): _____
 Pastagem Reformada (R1): _____
 Reforma e Rotação (R2): _____
 Integ. Lavoura Pecuária (ILP): _____

6) Intervalo de tempo para renovação das pastagens (anos): _____

7)

		Sistema Extensivo			
Período Chuvoso:	Capacidade de suporte (U.A/akq) _____	U.A/há _____	0	Lotação utilizada (U.A/akq) _____	U.A/há _____ 0
Período Seco:	Capacidade de suporte (U.A/akq) _____	U.A/há _____	0	Lotação utilizada (U.A/akq) _____	U.A/há _____ 0
		Sistema Intensificado <input type="checkbox"/> R1 <input type="checkbox"/> R2 <input type="checkbox"/> Integração			
Período Chuvoso:	Capacidade de suporte (U.A/akq) _____	U.A/há _____	0	Lotação utilizada (U.A/akq) _____	U.A/há _____ 0
Período Seco:	Capacidade de suporte (U.A/akq) _____	U.A/há _____	0	Lotação utilizada (U.A/akq) _____	U.A/há _____ 0

Obs: _____

Sistema Integrado: ILP IPF ILPF

8) Espécie Florestal:
 Espécie: _____ Espaçamentos entre renques: _____
 Entre linhas: _____ Na linha: _____
 Produtividade: _____

9) Cultura Agrícola:
 Espaçamento de plantio: _____
 Escala de rotação ao longo do ano: _____
 Produtividade (sacas/há): _____

10) Calagem: ILP IPF ILPF
 Corretivo: _____ Dose: _____
 Área (Alq): _____ Área (ha): 0 PRNT: _____ Última calagem (ano) _____ Freqüência: _____
 Critério: Análise de solo Indicação de Técnicos / Vizinhos Critério do Produtor
 Obs: _____

11) Adubação: ILP IPF ILPF
 NPK _____ Dose: _____ Alq: _____ ha: 0
 N _____ Dose: _____ Alq: _____ ha: 0
 P _____ Dose: _____ Alq: _____ ha: 0
 K _____ Dose: _____ Alq: _____ ha: 0
 Outro _____ Dose: _____ Alq: _____ ha: 0
 Última adubação (ano): _____ Freqüência da adubação: _____
 Critério: Análise de solo Indicação de Técnicos / Vizinhos Critério do Produtor
 Obs: _____

12) Gasto de Herbicida para Dessecação da Lavoura: _____

13) Preparo de solo / Plantio de forrageiras: Queimada / Manual Queimada / Mecanizado Mecanizado / Mecanizado Mecanizado / Manual

14) Em caso de pastagem consorciada com leguminosas E R1 R2 ILP
 Espécies: _____
 Área (alq) _____ Área (ha) _____ Duração _____ Densidade% _____
 Persistência: () Ruim () Razoável () Bom () Ótimo
 Obs: _____

15) Limpeza de pasto: E R1 R2 ILP
 fogo Roçagem manual Roçagem Mecanizada Herbicida
 Herbicida: _____ % da área pulverizada: _____
 Método de aplicação: _____

16) Raça dos animais: Sem raça definida Nelore Cruzada de Nelore
 Outros _____

17) Sistema de Produção: Cria Cria e Recria Cria Recria e Engorda Recria e Engorda Engorda / Terminação
 Macho Fêmea

18) Cria: Somente a pasto A pasto, oferta esporádica de Sal mineral no cocho A pasto, com suplementação constante de Sal Mineral no cocho
 Tipo de Sal: _____
 Suplementação Prot./Energ. (água) kg/U.A./dia: _____ Suplementação Prot./Energ. (água) kg/U.A./dia: _____
 Outro _____ kg/U.A./dia _____

Características das vacas:	Dados do Produtor	Dados Ajustados	Índices Zootécnicos da propriedade	Cálculo %	Referência	
					Média Nacional	Sistema Tecnificado
Produção de leite (kg/dia)		0	Índice de Fertilidade =	#DIV/0!	> 80%	
Período de Lactação (meses)			Índice de Natalidade =	#DIV/0!	60%	>80%
Idade ao 1º parto (meses)			Mortalidade intra-uterina =	#DIV/0!		
Peso da vaca ao 1º parto (kg)			Taxa de Desmame =	#DIV/0!	55%	76%
Intervalo entre partos (meses)			Relação Desmama M =	#DIV/0!		
Período de serviço (dias)			Relação Desmama F =	#DIV/0!		
Nº de fêmeas aptas a reprodução			Mortalid. até a desmama =	#DIV/0!	8%	4%
Nº de fêmeas prenhes			Taxa de Descarte =	#DIV/0!		30%
Nº de nascidos			Idade ao 1º parto		48 meses	24-36 meses
Proporção Macho/Fêmea			Intervalo entre partos		21 meses	14 meses
Peso ao Nascer (kg)						
Nº de desmamados						
Idade a Desmama (meses)						
Peso a desmama Macho (kg)						
Peso a desmama Fêmea (kg)						
Vacas descartadas:						
Relação Touro/Fêmea						

Obs: _____

19) Práticas de Manejo e Controle Zootécnico: Monta de ano inteiro Estação de Monta IA IATF Monta Natural Monta Controlada FIV Exame Andrológico
 Diagnóstico de Gestação Acompanhamento do parto e cura do umbigo Data dos partos Peso ao nascer Marcação Vermifugação
 Vacinação Desmama Castração Descarte Ganho de Peso
 Obs: _____

20) Recria Macho: Peso inicial (kg) / Idade (meses) _____ Fêmea: Peso inicial (kg) / Idade (meses) _____

Somente a pasto
 A pasto, oferta esporádica de Sal mineral no cocho
 A pasto, com suplementação constante de Sal Mineral no cocho

Tipo de Sal Mineral: _____

Suplementação Prot/Energ. (água) kg/U.A/dia: _____
 Suplementação Prot/Energ. (água) kg/U.A/dia: _____

Outro _____ kg/U.A/dia

Sistema Extensivo	<input type="checkbox"/> R1 <input type="checkbox"/> R2 <input type="checkbox"/> Integração
Ganho de peso nas águas (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>	Ganho de peso nas águas (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>
Ganho de peso na seca (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>	Ganho de peso na seca (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>

Obs: _____

21) Engorda Macho: Peso inicial (kg) / Idade (meses) Macho: Peso Final (kg) / Idade (meses) || Fêmea: Peso inicial (kg) / Idade (meses) | Fêmea: Peso Final (kg) / Idade (meses) |

Somente a pasto
 A pasto, oferta esporádica de Sal mineral no cocho
 A pasto, com suplementação constante de Sal mineral no cocho

Tipo de Sal Mineral: _____

Suplementação Prot/Energ. (água) kg/U.A/dia: _____
 Suplementação Prot/Energ. (seca) kg/U.A/dia: _____

Silagem de _____ kg/U.A/dia
 Concentrado de milho e Farelo de Soja kg/U.A/dia: _____

Outro _____ kg/U.A/dia

Período de Confinamento (meses): _____

Sistema Extensivo	<input type="checkbox"/> R1 <input type="checkbox"/> R2 <input type="checkbox"/> Integração
Ganho de peso nas águas (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>	Ganho de peso nas águas (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>
Ganho de peso na seca (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>	Ganho de peso na seca (kg/dia) Macho / Fêmea: <input type="text"/>

Obs: _____

22) Composição do Rebanho / mortalidade por categoria (unid):

*D = Desmama

Sistema Extensivo	Sistema Intensificado <input type="checkbox"/> R1 <input type="checkbox"/> R2 <input type="checkbox"/> Integração
N° de %	N° de %
animais Mortes Mortalidad.	animais Mortes Mortalidad.
Touros <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!	Touros <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!
Bezerros (a) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!	Bezerros (as) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!
F (D a Novilha) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!	F (D a 2 anos) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!
F (Matrizes) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!	F (2 a 3 anos) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!
M (D a 450 kg) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!	M (D a 2 anos) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!
M (> 450 kg) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!	M (2 a 3 anos) <input type="text"/> <input type="text"/> #DIV/0!
Mortalid. pós-desmama (todas as categorias): _____	Mortalid. pós-desmama (todas as categorias): _____

Obs: _____

PERCEPÇÃO EVOLUÇÃO DA PECUÁRIA: _____

PERCEPÇÃO SOBRE O CLIMA: _____

23) Comercialização (Unid)

Sistema Extensivo	Sistema Intensificado <input type="checkbox"/> R1 <input type="checkbox"/> R2 <input type="checkbox"/> Integração
Rendimento de Carcaça (%) Macho / Fêmea <input type="text"/>	Rendimento de Carcaça (%) Macho / Fêmea <input type="text"/>
Vendas de Adultos Machos / Fêmeas <input type="text"/>	Vendas de Adultos Machos / Fêmeas <input type="text"/>
% de abate #REF!	% de abate #REF!
Vendas de Desmamados Machos / Fêmeas <input type="text"/>	Vendas de Desmamados Machos / Fêmeas <input type="text"/>
% de Vendas #REF!	% de Vendas #REF!

Obs: _____

Parâmetros:	Média	Sistema	
	Nacional	Tecnif.	
Idade ao abate	48 meses	30 meses	
Rend. De Carc.	53%	55%	
% de Vendas			
% de Abate	17%	22%	

Custo de produção: _____

24) Consumo de Energia Elétrica Na Fazenda (RS/mês): _____

Balança na propriedade Sim Não

7.2 Cronograma de Coleta de Amostras de Gás

O cronograma apresenta os dias de coleta de gás assinalados na cor verde e a precipitação pluvial (mm) aferida diariamente na área experimental.

	2018	2019												2020	
Dia	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV
1	0	27	2,5	70	0	30	0	0	0	0	10	0	0	5	0
2	0	0	32	2,5	30	28	0	0	0	0	20	0	0	10	12,5
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0
4	2,5	0	0	12	60	5	0	0	0	0	0	0	0	10	60
5	0,1	0	42,5	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,5	0
6	0	0	10	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	55
7	0	1	20	44	0	0	0	10	0	0	0	0	0	22,5	2,5
8	10,5	0	5	0	26	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
9	15	5	6	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80
10	20	2,5	0	5	15	0	0	0	0	0	0	0	10	0	20
11	0	22,5	0	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0
12	2,5	3	0	38	25	0	0	0	0	0	0	0	0	47,5	32,5
13	5	0	20	27,5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	37,5
14	30	10	10	17	0	0	0	0	0	0	0	81	15	55,5	10
15	42	40	2,5	0	64	15	0	0	0	0	0	0	0	0	72,5
16	0	0	0	0	12	18	0	0	0	0	0	0	20	0	0
17	3	0	29	2,5	0	12,5	0	0	0	0	0	0	25	2,5	0
18	0	0	72	0	12	12	0	0	0	0	0	0	10	5	7,5
19	0	0	0	0	5	10	0	0	0	0	0	0	5	0	0
20	0	5	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	30	0	32,5
21	30	15	0	88	5	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	5	5	0	12	0	0	0	0	0	15	0	30	12,5	0
23	0	90	15	10	50	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
24	2,5	0	26	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	57,5	22,5
25	2,5	0	10	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
26	0	2,5	12	36	5	0	0	0	0	0	0	0	10	0	25
27	0	5	30	7,5	5	10	0	0	0	0	0	0	20	130	0
28	0	1	0	0	12	5	0	0	0	0	0	0	30	2,5	50
29	15	5		15	10	0	0	0	0	0	0	0	30	46	0
30	28	2,5		70	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
31	0	0		15		0		0	0		0		40	17,5	0
Total (mm)	208,6	215	315	531	353	152	0	15	0	0	65	81	335	497	520

7.3 Síntese em Tabelas das Informações Coletadas nas Fazendas

7.3.1 Recorte entre níveis tecnológicos na região da transamazônica

Tabela 35. Índices zootécnicos de recria e engorda de machos nascidos do cruzamento de Nelore com Matrizes Leiteiras obtidos em 5 fazendas nos municípios de Novo Repartimento, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.

Índices Zootécnicos	Recria e engorda de machos mestiços e/ou de raça leiteira	
	Média	¹ Erro padrão
Recria - Peso inicial (kg)	166,30	8,27
Recria - Idade inicial (meses)	7,30	0,44
Peso inicial na Engorda (kg)	-	-
Idade inicial Engorda (meses)	-	-
Peso de Abate (kg)	492,00	20,65
Idade de Abate (meses)	35,80	3,35
Rendimento de Carcaça (%)	50,00	-
GMD Recria ao Abate (kg/dia)	0,41	0,07

GMD = Ganho médio diário. ¹ $Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra.

Tabela 36. Índices reprodutivos de fêmeas Nelore obtidos em 53 fazendas agrupadas de acordo com o manejo reprodutivo nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.

Índices Zootécnicos	IATF e Monta Natural de Repasse		Monta Natural	
	Média	¹ Erro padrão	Média	¹ Erro padrão
Idade ao 1º parto (meses)	30,71	1,08	34,09	0,69
Peso da vaca ao 1º parto (kg)	389,58	16,66	399,17	5,40
IEP - Entrevista (meses)	12,96	0,43	12,82	0,18
IEP calculado (meses)	14,96	0,45	15,00	0,47
Peso ao Nascer (kg)	35,64	3,07	39,59	2,06
Idade a Desmama (meses)	8,00	0,00	7,78	0,11
Macho - Peso a desmama (kg)	215,71	5,57	207,65	3,05
Fêmea - Peso a desmama (kg)	194,29	5,64	188,75	2,78
Nº de fêmeas/touro	31,92	3,42	31,91	1,35
Taxa de Natalidade (%)	81,58	2,32	82,32	2,30

IATF e Monta Natural de Repasse (14 fazendas); Monta Natural (37 fazendas); IATF = Inseminação Artificial em Tempo Fixo; IEP = Intervalo entre partos. ¹ $Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra. Não foram observadas diferenças entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p=0,05$).

Tabela 37. Índices zootécnicos de recria e engorda de machos de raça Nelore obtidos em 41 fazendas cujos sistemas de produção foram agrupados em: Sem adubação e suplementação; Com adubação; Com suplementação; Com adubação e suplementação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.

Índices Zootécnicos	Sem adubação e suplementação (14 fazendas)		Com adubação (3 fazendas)		Com suplementação (14 fazendas)		Com adubação e suplementação (10 fazendas)	
	Média	¹ Erro	Média	¹ Erro	Média	¹ Erro	Média	¹ Erro
Recria - início (kg)	207,57	4,17	226,67	31,80	214,64	4,43	219,50	5,98
Recria - início (meses)	8,39	0,29	9,00	1,53	8,79	0,39	8,40	0,23
Engorda – início (kg)	387,00	-	-	-	427,73	17,05	428,13	18,08
Engorda – início (meses)	24,00	-	-	-	26,50	1,59	28,00	1,77
Peso de Abate (kg)	519,62	12,95	543,33	3,33	535,36	5,80	532,00	17,39
Idade de Abate (meses)	33,54	1,30	33,00	3,51	29,79	1,07	30,50	1,59
RC (%)	51,58	0,37	52,00	-	52,38	0,34	52,15	0,38
GMD (kg/dia)	0,42	0,01	0,46	0,10	0,54	0,04	0,49	0,04

GMD – Ganho médio diário. RC – Rendimento de carcaça. $^1Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra. Não foram observadas diferenças entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p=0,05$).

Tabela 38. Índices zootécnicos de recria e engorda de machos de raça Nelore obtidos em 41 fazendas cujos sistemas de produção foram agrupados em: sem suplementação e com suplementação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.

Índices Zootécnicos	Sem suplementação (17 fazendas)		Com suplementação (24 fazendas)	
	Média	¹ Erro padrão	Média	¹ Erro padrão
Recria - Peso inicial (kg)	210,94	6,10	216,67	3,54
Recria - Idade inicial (meses)	8,50	0,33	8,63	0,25
Peso inicial na Engorda (kg)	-	-	427,89	12,12
Idade inicial Engorda (meses)	-	-	27,13	1,16
Peso de Abate (kg)	524,06	11,06	533,96	7,78
Idade de Abate (meses)	33,44	1,18	30,08	0,89
Rendimento de Carcaça (%)	51,64	0,32	52,25	0,25
GMD Recria ao Abate (kg/dia)	0,42	0,02	0,52	0,03

GMD – Ganho médio diário. $^1Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra. Não foram observadas diferenças entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p=0,05$).

Tabela 39. Lotação, características da pastagem, mortalidade pós-desmama e comercialização dos animais a partir de informações obtidas em 89 fazendas, cujos sistemas de produção foram agrupados em: Sem adubação e suplementação; Com adubação; Com suplementação; Com adubação e suplementação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.

Índices Zootécnicos	Sem adubação e suplementação (50 Produtores)		Suplementação (14 Produtores)		Adubação (10 Produtores)		Adubação e Suplementação (15 Produtores)	
	Média	¹ Erro	Média	¹ Erro	Média	¹ Erro	Média	¹ Erro
Lotação 1 (U.A/ha)	1,22	0,05	1,15	0,05	1,26	0,12	1,50	0,22
Lotação 2 (U.A/ha)	1,02	0,06	1,07	0,09	1,27	0,21	1,30	0,24
Lotação 3 (Cab./ha)	1,30	0,07	1,32	0,12	1,68	0,27	1,56	0,24
Idade do pasto (anos)	21,33	1,47	22,17	3,41	23,60	2,18	17,43	3,88
Anos entre reformas	12,22	1,07	15,00	3,93	9,40	2,29	13,64	2,80
Invasoras no pasto (%)	19,34	2,17	18,30	5,16	32,14	4,61	15,50	4,50
Mortalidade PD (%)	2,23	0,27	1,94	0,26	3,15	1,16	1,44	0,33
% Abate de adultos	16,81	2,38	27,95	4,28	19,52	5,41	38,37	5,16
% Venda a Desmama	20,36	1,49	25,00	0,80	28,95	1,77	11,75	5,45

Locação 1 – Informação direta do produtor, Lotação 2 – Calculado a partir de informações de rebanho e pastagem no questionário, Lotação 3 – Calculado a partir de informações de rebanho e pastagem no questionário. U.A – Unidade Animal (450 kg); ha – hectare. Cab. – Cabeça. PD – Pós desmama. ¹ $Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra. Não foram observadas diferenças entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p=0,05$).

Tabela 40. Lotação, características da pastagem e utilização de corretivos e fertilizantes a partir de informações obtidas em 89 fazendas cujos sistemas de produção foram agrupados em: sem adubação e com adubação. O levantamento foi realizado nos municípios de Novo Repartimento, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí no estado do Pará.

Índices Zootécnicos	Sem adubação (64 fazendas)		Com adubação (25 fazendas)	
	Média	¹ Erro	Média	¹ Erro
Lotação 1 (U.A/ha)	1,20	0,0	1,41	0,1
Lotação 2 (U.A/ha)	1,03	0,1	1,29	0,2
Lotação 3 (Cab./ha)	1,30	0,1	1,61	0,2
Idade do pasto (anos)	21,51	1,3	20,00	2,5
Anos entre reformas	12,67	1,1	11,15	1,8
Invasoras no pasto (%)	19,13	2,0	22,35	3,8
Calcário Mg/ha	-	-	1,55	0,19
Nitrogênio kg/ha	-	-	46,78	15,80
Fósforo kg/ha	-	-	87,31	12,30
Potássio kg/ha	-	-	52,33	19,63

Locação 1 – Informação direta do produtor, Lotação 2 – Calculado a partir de informações de rebanho e pastagem no questionário, Lotação 3 – Calculado a partir de informações de rebanho e pastagem no questionário. U.A – Unidade Animal (450 kg). Cab. – Cabeça. ha – hectare. Mg – Megagrama. ¹ $Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra. Não foram observadas diferenças entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p=0,05$).

7.3.2 Sistema de integração lavoura pecuária (ILP) no município de Paragominas (PA)

Tabela 41. Lotação, mortalidade pós-desmama e comercialização de fêmeas Nelore a partir de informações obtidas em sete fazendas que atuam com integração lavoura pecuária (ILP) no município de Paragominas (PA).

Índices Zootécnicos	Média	¹ Erro padrão
Lotação média (U.A/ha) - Informado pelo Produtor	1,37	0,31
Lotação média (U.A/ha) - Calculado	0,74	0,14
Lotação média (Cab./ha) - Calculado	1,20	0,23
Mortalidade pós-desmama (%)	1,00	0,00
% de venda	100,00	0,00

U.A = Unidade Animal (450 kg); Cab. = Cabeça. ¹ $Sx=s/\sqrt{n}$, onde Sx = Erro padrão, s = desvio padrão, n = tamanho da amostra.

7.4 Emissões Anuais de N₂O Atribuídas a Urina e Fezes de Bovinos, Aplicando-se aos Cenários de Produção Fatores de Emissão obtidos Localmente

Tabela 42. Emissões diretas de N₂O de fezes e urina (kg categoria⁻¹ ano⁻¹) nos diferentes cenários.

Categoria	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O
	Fezes	Urina	Fezes	Urina	Fezes	Urina
Touros	0,4	3,7	0,4	3,9	0,5	4,5
Vacas	8,2	84,8	9,0	93,4	10,8	113,2
Bezerras	0,4	3,5	0,5	4,5	0,7	5,9
Bezerros	0,4	3,6	0,6	4,7	0,7	6,1
Novilha	0,9	9,2	1,3	12,7	1,8	18,5
Novilho	1,0	10,0	1,4	13,8	1,9	19,8
Fêmeas quase adultas	1,2	11,5	1,6	15,8	2,3	23,4
Machos quase adultos	1,3	13,2	1,8	18,0	2,6	25,9
Fêmeas em terminação	1,6	15,6	1,8	18,2	2,2	22,9
Machos em terminação	1,9	19,0	2,2	22,2	2,6	27,3
Total N ₂ O rebanho ⁻¹ ano ⁻¹ (kg)	191,3		227,6		293,6	

As emissões de N₂O apresentadas nessa Tabela levam em consideração os valores de excreção de N obtidos por meio das equações desenvolvidas por PRADOS et al. (2016) (Tabela 24), os fatores de emissão anuais para urina (0,811 g de N/100 g de N) e fezes (0,089 g de N/100 g de N) obtidos neste estudo e o número de animais e seus respectivos períodos de permanência em cada categoria apresentado na Tabela 29.