

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

PAULO DE MÉO FILHO

Efeitos do manejo, intensificação e integração em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto, em face da emissão de metano ruminal e do aquecimento global

Pirassununga

2020

PAULO DE MÉO FILHO

Efeitos do manejo, intensificação e integração em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto, em face da emissão de metano ruminal e do aquecimento global

(Versão corrigida)

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Ives Cláudio da Silva Bueno

Co-orientador: Dr. Alexandre Berndt

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M551e Méo Filho, Paulo de
Efeitos do manejo, intensificação e integração em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto, em face da emissão de metano ruminal e do aquecimento / Paulo de Méo Filho ; orientador Ives Cláudio da Silva Bueno ; coorientador Alexandre Berndt. -- Pirassununga, 2020.
148 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. bovinocultura de corte. 2. metano entérico.
3. pastagem. 4. integração lavoura-pecuária- floresta. 5. gases de efeito estufa. I. Bueno, Ives Cláudio da Silva , orient. II. Berndt, Alexandre, coorient. III. Título.

PAULO DE MÉO FILHO

Efeitos do manejo, intensificação e integração em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto, em face da emissão de metano ruminal e do aquecimento global

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Data de aprovação: 01 / 06 / 2020

Banca Examinadora:

Ives Cláudio da Silva Bueno – Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. Universidade de São Paulo - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Orientador (a).

Paulo Henrique Mazza Rodrigues
Prof. Dr. Universidade de São Paulo - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia.

Adibe Luiz Abdalla
Prof. Dr. Universidade de São Paulo - Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

Ciniro Costa
Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (Campus de Botucatu).

Roberto Giolo de Almeida
Dr. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Gado de Corte

Roberto Guimarães Júnior
Dr. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados

Aos meus pais Regina e Paulinho, que com dedicação, amor, exemplo de casal e família, são responsáveis por tudo que conquistei em minha vida.

À minha namorada Monalisa por todo o amor e por estar ao meu lado desde o início desta caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Regina, por todo o amor, por suas orações, por estar ao meu lado me apoiando e incentivando, como em toda minha vida e por fazer de tudo para que eu seja feliz e conquiste os meus objetivos.

Ao meu pai Paulinho (*in memoriam*), por ter vivido pela felicidade de nossa família, por me ensinar e ser exemplo de valores e caráter, e por tudo que dedicou em sua vida por minha felicidade, crescimento pessoal e intelectual.

À minha namorada Monalisa, por ter me mostrado que era sim possível seguir este caminho, por todo apoio, amor, carinho e paciência.

Aos meus tios e padrinhos, Vera e Pedro, e minha tia Inês que sempre estiveram presentes em minha vida, oferecendo amor, apoio, incentivo, e torcendo pelo meu sucesso.

Às minhas irmãs Rita, Marita e Fernanda, por toda a torcida, amor e apoio mesmo que o caminho que optei por seguir, sacrifique tanto o tempo que passávamos juntos.

Ao meu co-orientador Dr. Alexandre Berndt, pela convivência e atenção a mim dedicada, pelos valores, ensinamentos, paciência, confiança, oferta de oportunidades e apoio, desde minha chegada na Embrapa Pecuária Sudeste em 2013, e por toda a orientação nesse período que se conclui.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ives Cláudio da Silva Bueno, pela confiança desde o dia que dei início ao meu mestrado em 2014, pelo apoio e ensinamentos também fundamentais a minha formação.

À Dra. Laura Cardenas, minha orientadora durante meu período sanduiche na Inglaterra, pela oportunidade ímpar, confiança, ensinamentos, atenção, ajuda e orientação.

À Dra. Myriam Jordana Rivero Viera minha co-orientadora durante meu período sanduiche na Inglaterra, pelos ensinamentos, atenção, confiança e por toda ajuda.

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues, por todo ensinamento, paciência e ajuda, em relação aos dados e estatística, em minha Dissertação, Tese e Artigos.

Aos pesquisadores da Embrapa Pecuária Sudeste que me ajudaram e ensinaram com paciência e dedicação, desde meu estágio de conclusão de curso, Dra. Cintia R. Marcondes, Dr. André F. Pedroso, Dr. Rymer R. Tullio, Dra. Renata T. Nassu, Dra. Patrícia P. A. de Oliveira, Dr. José Ricardo M. Pezzopane, Dr. Maurício Mello de Alencar, Dr. Sérgio Novita Esteves, Dra. Marcela de Mello Brandão Vinholis, MSc. Waldomiro Barioni Junior, Dr. Alberto Carlos de Campos Bernardi, Dr. Sérgio Raposo de Medeiros.

A toda equipe técnica da Embrapa Pecuária Sudeste, pesquisadores, analistas, estagiários, técnicos de campo e laboratório, por toda ajuda, dedicação e apoio.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e sua infraestrutura, por ser fundamental a minha formação profissional desde o início de minha graduação, com tanta qualidade, estrutura e renome.

À Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pelo acolhimento, e base desde meu estágio de conclusão de curso na graduação, pelo renome e infraestrutura.

À Rothamsted Research, onde tive o prazer de morar e trabalhar, por toda infraestrutura, renome e oportunidades únicas a mim oferecidas.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio com a bolsa de estudos, que tornou possível a realização do presente trabalho e do curso de Doutorado.

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

RESUMO

MÉO-FILHO, P. **Efeitos do manejo, intensificação e integração em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto, em face da emissão de metano ruminal e do aquecimento global**. 2020. 148 f. Tese – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

No primeiro experimento, foram avaliados 60 novilhos de corte da raça Canchim (composto 5/8 Charolês x 3/8 Zebu) distribuídos em 5 tratamentos representados pelo tipo de sistema de criação em pastagem (EXT = Extensivo; INT = Intensivo; ILP = Integração lavoura-pecuária; ILPF = Integração lavoura pecuária-floresta; IPF = Integração pecuária-floresta), com peso inicial 255 ± 7 kg. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho, características de carcaça, a produtividade animal por área, e relacioná-los a emissão de metano entérico de novilhos de corte em diferentes sistemas de produção em pastagem. O experimento foi executado na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP, avaliando as quatro estações do ano, pelo período de dois anos consecutivos. O segundo experimento foi realizado na instituição Rothamsted Research – North Wyke localizada em Okehampton no sul da Inglaterra, onde foram avaliados 60 bovinos de corte (novilhos e novilhas, de uma raça estabilizada composta por Hereford, Red Angus, Simental e Gelbvie), com peso inicial de 476 ± 51 kg, distribuídos em dois tipos de sistemas de criação a pasto (adubado e consorciado) que corresponderam aos tratamentos. Este trabalho teve como objetivo testar a hipótese de que o gado criado em diferentes tipos de pastagem de gramíneas C3 (adubada ou consorciada) pode expressar diferente desempenho e emissões de CH₄ ruminal. Os animais foram acompanhados por 5 períodos para determinação do desempenho produtivo, estimativa do consumo e emissão de CH₄ entérico. Os dados em ambos experimentos foram analisados utilizando o SAS 9.4 (SAS Inst, Inc., Cary, NC). Após verificada a normalidade dos resíduos pelo teste Shapiro-Wilk, os dados foram analisados seguindo o procedimento para modelos mistos. As médias foram separadas pelo teste Tukey e os efeitos foram considerados significativos quando $p < 0,05$. No primeiro experimento, o peso vivo final (PF) foi maior ($p < 0,05$) para os animais dos sistemas INT (484) e ILP (466) em comparação com os animais do ILPF (416), IPF (414) e EXT (429). O consumo de matéria seca (CMS) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), (ILPF = 8,9; EXT

= 7,4; INT = 8,2; ILP = 7,5; IPF = 8,3). A intensidade de emissão em relação a eficiência de ganho da área $\text{gCH}_4/\text{kgGMD} / \text{GPV}/\text{ha}/\text{ano}$ foi significativamente ($p>0,05$) diferente entre os sistemas (EXT = 1,6; INT = 0,6; ILP = 0,8; ILPF = 1,1; IPF = 0,7). Foi observada interação sistema*estação para as variáveis taxa de lotação (UA/ha), ganho médio diário (GMD), e a emissão de metano estimada em relação ao GMD. Ainda, a intensidade de emissão de CH_4 calculada em relação a produção de carcaça ($\text{kg CH}_4/\text{kg}$ de carcaça eq.) também foi significativamente diferente ($p<0,05$) entre os sistemas (EXT = 0,496 INT = 0,250; ILP = 0,297; ILPF = 0,345; IPF = 0,286). Bovinos de corte criados em sistemas de produção em pastagem intensificados e/ou integrados, têm acesso a maior disponibilidade de massa de forragem e nutrientes do que os criados extensivamente. Sistemas de pastagem que recebem tecnologias como correção e adubação do solo, são manejados com lotação rotativa ou ainda integrados com a cultura do milho, podem produzir animais com maior peso final e ganho médio diário, o que dilui as emissões de CH_4 ruminal por kg de ganho de peso. Nesses mesmos sistemas uma maior eficiência no ganho por área é obtida, ou ainda, nos que são integrados com o componente florestal, porém, a medida que a complexidade dos componentes dentro de uma mesma área aumenta, como na ILPF, o ganho por área pode se equiparar ao de sistemas com manejo extensivo e controle da lotação animal. Ainda, esse mesmo padrão é observado na intensidade de emissão de metano em relação a eficiência do ganho animal por área. Animais produzidos em sistemas intensificados e integrados emitem menos metano por kg de carcaça produzida. No experimento 2, apenas a quantidade de energia bruta ingerida, convertida e emitida em forma de CH_4 ($Y_m\%$) apresentou interação tratamento*período. Apesar dos resultados preliminares aqui apresentados não demonstrarem diferenças significativas entre os tratamentos, as emissões de CH_4 , em específico em g/dia e em relação ao ganho médio diário, demonstraram numericamente uma tendência de menor emissão para o tratamento consorciado. Esse fato apoia o argumento da repetição do presente trabalho, de maneira a aumentar o número de animais experimentais e incorporar às análises dados de produção de massa e qualidade das forragens, além da produtividade de carcaça.

Palavras-chave: bovinocultura de corte; gases de efeito estufa; integração lavoura-pecuária-floresta; metano entérico, pastagem

ABSTRACT

MÉO-FILHO, P. **Effects of management, intensification and integration in grazing beef cattle production systems facing emission of ruminal methane and global warming.** 2020. 148 p. Thesis - Faculty of Animal Science and Food Engineering, University of São Paulo, Pirassununga, 2020.

In the first trial, sixty Canchim beef steers (compound breed 5/8 Charolais x 3/8 Zebu) were evaluated, distributed in 5 treatments represented by the type of pasture system (EXT = Extensive; INT = Intensive; ICL = Integrated Crop-Livestock; ICLF = Integrated crop-livestock-forest; ILF = Integrated livestock-forest), with initial weight 255 ± 7 kg. The objective of this trial was to evaluate the performance, carcass characteristics, animal productivity by area, and to relate them to the enteric methane emissions of beef steers in different pasture production systems. The experiment was carried out at the Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP, evaluating the four seasons, for a period of two consecutive years. The second experiment was carried out at the Rothamsted Research - North Wyke institution located in Okehampton in the South of England, where sixty beef cattle (steers and heifers, of a stabilized composed breed of Hereford, Red Angus, Simental and Gelbvieh), with initial weight of 476 ± 51 kg and distributed in two types of grazing systems (fertilized and consortium). This work aimed to test the hypothesis that cattle raised on different types of pasture (perennial fertilized ryegrass vs. ryegrass and white clover high sugar cultivar) may express different performance and ruminal CH₄ emissions. The animals were evaluated for 5 periods to determine performance, intake prediction and enteric methane emission. The data in both experiments were analyzed using SAS 9.4 (SAS Inst, Inc., Cary, NC), after checking the normality of the residues by the Shapiro-Wilk test. The data were analyzed using the mixed model procedure. Means were separated by the Tukey test and the effects were considered significant when $p < 0.05$. In the first experiment, the final live weight (FW) was higher ($p < 0.05$) for the animals of the INT (484) and ICL (466) systems compared to the animals of the ICLF (416), ILF (414) and EXT (429). The consumption of dry matter (DMI) showed a significant difference ($p < 0.05$), (ICLF = 8.9; EXT = 7.4; INT = 8.2; ICL = 7.5; ILF = 8.3). The emission intensity in relation to the gain efficiency

of the gCH₄ / kgDWG / LWG / ha / year area was significantly ($p < 0.05$) different between the systems (EXT = 1.6; INT = 0.6; ICL = 0.8; ICLF = 1.1; ILF = 0.7). System * season interaction was observed for the stocking rate (AU / ha), average daily gain (ADG), and the estimated methane emission in relation to the ADG. Furthermore, the intensity of CH₄ emission calculated in relation to carcass production (kg CH₄ / kg of eq carcass) was also significantly different ($p < 0.05$) between the systems (EXT = 0.496 INT = 0.250; ICL = 0.297; ICLF = 0.345; ILF = 0.286). Beef cattle raised in intensified and / or integrated pasture production systems, have access to greater availability of forage mass and nutrients than those raised extensively. Pasture systems that receive technologies such as soil correction and fertilization, are managed with rotational stocking or are integrated with corn, can produce animals with higher final weight and average daily gain, which dilutes ruminal CH₄ emissions per kg of weight gain. In these same systems, greater efficiency in the gain per area is obtained, or even in those that are integrated with the forest component, however, as the complexity of the components within the same area increases, as in the Integration of livestock, crop and forest, the gain per area can be compared to systems with extensive management and control of stocking. Still, this same pattern is observed in the intensity of methane emission in relation to the efficiency of animal gain per area. Animals produced in intensified and integrated systems emit less methane per kg of carcass produced than those raised in systems managed extensively. In experiment two, in addition to a numerical trend of less emission for the consortium treatment, only the amount of gross energy ingested, converted and emitted in the form of CH₄ (Ym%) showed interaction treatment * period. Although the preliminary results presented here do not demonstrate significant differences between treatments, CH₄ emissions, specifically in g / day and in relation to the average daily gain, numerically demonstrated a tendency of lower emission for the combined treatment. This fact supports the argument of the repetition of the present work, in order to increase the number of experimental animals and to incorporate in the analysis data of mass production and quality of forages, in addition to carcass productivity.

Keywords: beef cattle; greenhouse gases; integrated crop-livestock-forest; enteric methane; pasture

LISTA DE FIGURAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 – Emissões globais dos principais gases de efeito estufa e representatividade por setor da economia no total de emissões ($49 \pm 4,5$ Gt CO ₂ -eq.) | 30 |
| Figura 2 - Emissões brutas de gases de efeito estufa no Brasil, por setor, de 1990 a 2015 | 33 |
| Figura 3 - Potencial de aumento e potencial de mitigação de GEE ao se adotar ou não as técnicas do Programa ABC | 36 |
| Figura 4 - Representação das emissões de GEE da agricultura brasileira em comparação as emissões globais (Gt CO ₂ eq. e percentual) | 37 |
| Figura 5 - Ranking dos países com maiores rebanhos de bovinos e com maior produção de carne bovina em 2019 | 38 |
| Figura 6 – Evolução das áreas de pastagens e número de cabeças por hectare de 1980 a 2017 | 39 |
| Figura 7 - Representatividade por setor da economia na emissão GEE no Reino Unido | 40 |
| Figura 8 - Evolução das emissões de GEE por setor da economia do Reino Unido (1990-2017)..... | 41 |
| Figura 9 - Evolução da população de bovinos e das emissões de CH ₄ e N ₂ O provenientes da agricultura no Reino Unido (1990-2017) | 42 |
| Figura 10 - Evolução das áreas de pastagens naturais e plantadas no Brasil entre 1975 e 2017 | 44 |
| Figura 11 - Representação da cápsula de SF ₆ no rúmen do animal | 57 |
| Figura 12 - Bovino equipado com o cabresto e canga de amostragem..... | 58 |
| Figura 13 - Temperaturas mínima, média, máxima, pluviosidade e o balanço hídrico durante os dois anos de execução do experimento | 86 |
| Figura 14 - Representação das áreas dos diferentes sistemas de pastagens | 87 |
| Figura 15 - Massa de forragem durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos) | 102 |
| Figura 16 – Disponibilidade de massa de forragem digestível (digestibilidade in-vitro da MS) durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)..... | 102 |
| Figura 17 - Teor de proteína bruta durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos) | 103 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 18 - Teor de fibra em detergente neutro durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos). | 103 |
| Figura 19 - Teor de carboidratos não-fibrosos durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos). | 104 |
| Figura 20 - Taxa de lotação nos diferentes sistemas em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias dos dois períodos)..... | 108 |
| Figura 21 – Conversão alimentar (kg/kg) de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos). | 108 |
| Figura 22 – Ganho médio diário durante de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos). | 109 |
| Figura 23 - Emissão de CH ₄ (kg) em relação ao GMD (kg) de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias dos dois períodos)..... | 109 |
| Figura 24 - Mapa do Reino Unido e localização da Rothamsted Research - North Wyke..... | 132 |
| Figura 25 - Área de pastagem consorciada (C) e área de pastagem adubada (A). | 134 |
| Figura 26 – Canga e cabresto montados para a coleta de CH ₄ segundo a metodologia do gás traçador SF ₆ | 135 |
| Figura 27 - Fator de conversão do CH ₄ YM%, nos diferentes períodos de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada | 140 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Tabela 1 - Potencial de aquecimento global dos principais gases de efeito estufa. .31 | |
| Tabela 2 – Principais iniciativas por setor da economia brasileira para redução das emissões de GEE.....35 | |
| Tabela 3 - Índices zootécnicos que podem indicar se a pastagem está em processo de degradação48 | |
| Tabela 4 - Trabalhos brasileiro publicados em periódicos científicos que mensuraram a emissão entérica de metano de bovinos de corte pela técnica do SF ₆61 | |
| Tabela 5 - Caracterização dos sistemas de criação a pasto que representam os tratamentos88 | |
| Tabela 6 - Níveis de garantia por kg de suplemento mineral89 | |
| Tabela 7 - Massa de forragem, disponibilidade de massa de forragem digestível (DIVMS) e nutrientes disponíveis em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)..... 101 | |
| Tabela 8 - Variáveis de desempenho e emissão de CH ₄ de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)..... 105 | |
| Tabela 9 – Taxa de lotação, Conversão alimentar, Ganho médio diário e Emissão de CH ₄ por kg de GMD de bovinos criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias dos dois períodos) 107 | |
| Tabela 10 - Características da carcaça de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (dados do segundo período)..... 110 | |
| Tabela 11 - Pesos inicial e final, consumo de matéria seca e ganho médio diário de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada..... 139 | |
| Tabela 12 - Emissão de CH ₄ em g/dia, e em relação ao ganho médio diário e ao peso vivo de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada..... 139 | |
| Tabela 13 - Fator de conversão do CH ₄ YM% de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada 140 | |

LISTA DE SILGLAS

AA – aminoácidos

ABC - Agricultura de Baixo Carbono

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

AGCC – ácidos graxos de cadeia curta

AGV - ácidos graxos voláteis

AHDB - Agriculture and Horticulture Development Board

AOL – área de olho de lombo

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CMS – Consumo de Matéria Seca

DECC - Department of Energy and Climate Change

DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA - Environmental Protection Agency

EUA – Estados Unidos da América

EXT - extensivo

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

GEE – gases de efeito estufa

GMD - ganho médio diário

GPV – ganho de peso vivo

GWP – global warming potential

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ILP – integração lavoura-pecuária

ILPF – integração lavoura-pecuária-floresta

IPF - Integração pecuária-floresta

IMS - ingestão de matéria seca

INT - intensivo

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MCC – Ministério da Casa Civil

MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação

MCTIC - Ministério da Ciência Tecnologia, Inovações e Comunicação

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MS – matéria seca

MUTF – mudança no uso da terra e florestas

NBA - National Beef Association

PC – peso de carcaça

PIB - produto interno bruto

PNMC - Política Nacional sobre a Mudança do Clima

UA – unidade animal

UE – União Europeia

USDA - United States Department of Agriculture

LISTA DE SÍMBOLOS

C – Carbono

CH₄ – Metano

cm – Centímetros

CO₂ – Dióxido de carbono

CO₂-eq. - Dióxido de carbono equivalente

CV – Coeficiente de variação

Gg – Giga grama

Gt – Giga tonelada

H₂ – Gás hidrogênio

ha - Hectare

K - Potássio

KCl – Cloreto de potássio

kg - Quilograma

m - Metros

m³ – Metro cúbico

mm – Milímetro

Mt – Mega tonelada

N - Nitrogênio

N₂O – Óxido nitroso

NaCl – Cloreto de sódio

O₂ – Gás oxigênio

P – Fósforo

P₂O₅ - Pentóxido de fósforo

ppm – Partes por milhão

ppt – Partes por trilhão

R² - Coeficiente de determinação

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

t - Toneladas

Tg – Teragrama

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 25 |
| 1.1. OBJETIVO GERAL..... | 28 |
| 1.1.1. Objetivos específicos | 28 |
| 1.2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 29 |
| 1.2.1. Aquecimento global, emissão de gases de efeito estufa nos setores da economia e na agricultura do Brasil e do Reino Unido..... | 29 |
| 1.2.2. Sistemas de criação em pastagem no Brasil | 42 |
| 1.2.3. Sistemas de pastagens adubadas e/ou consorciadas no Reino Unido . | 50 |
| 1.2.4. Fermentação ruminal..... | 52 |
| 1.2.5. Fator de conversão do metano Y_m (%) | 55 |
| 1.2.6. Metodologias para determinação da emissão de CH_4 entérico | 55 |
| 1.2.6.1. Técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) | 57 |
| 1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |
| 2. PRODUÇÃO ANIMAL E EMISSÃO DE METANO RUMINAL EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE NO SUDESTE DO BRASIL | |
| 81 | |
| 2.1. INTRODUÇÃO..... | 81 |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODOS | 85 |
| 2.2.1. Local e período | 85 |
| 2.2.2. Clima e balanço hídrico..... | 86 |
| 2.2.3. Animais e tratamentos..... | 86 |
| 2.2.4. Determinação da massa e qualidade da forragem..... | 91 |
| 2.2.5. Avaliação do consumo em pastagem..... | 92 |
| 2.2.6. Avaliação da emissão de metano entérico..... | 94 |
| 2.2.7. Abate e rendimento de carcaça | 96 |
| 2.2.8. Forma de análise dos resultados | 97 |
| 2.3. RESULTADOS | 99 |
| 2.3.1. Massa de forragem, digestibilidade <i>in vitro</i> e disponibilidade de nutrientes. | |
| 99 | |
| 2.3.2. Desempenho animal e emissões de CH_4 | 104 |
| 2.3.3. Características de carcaça e intensidade de emissão de CH_4 em relação a produção de carcaça equivalente..... | 110 |
| 2.4. DISCUSSÃO..... | 111 |
| 2.4.2. Desempenho animal | 113 |
| 2.4.3. Emissão de CH_4 entérico | 115 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.4. Características de carcaça e intensidade de emissão de CH ₄ em relação a produção de carcaça equivalente | 118 |
| 2.5. CONCLUSÃO..... | 120 |
| 2.6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS | 121 |
| 3. DESEMPENHO E EMISSÃO DE METANO DE BOVINOS DE CORTE CRIADOS EM DIFERENTES TIPOS DE PASTAGENS NO SUL DA INGLATERRA | 129 |
| 3.1. INTRODUÇÃO | 129 |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 131 |
| 3.2.1. Local e período..... | 131 |
| 3.2.2. Rothamsted Research | 131 |
| 3.2.3. Animais e tratamentos | 133 |
| 3.2.4. Avaliação da emissão de metano entérico | 135 |
| 3.2.5. Forma de análise dos resultados..... | 138 |
| 3.3. RESULTADOS..... | 139 |
| 3.4. DISCUSSÃO | 141 |
| 3.5. CONCLUSÃO..... | 143 |
| 3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 145 |
| 3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 146 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária e a agricultura são atividades humanas fundamentais à manutenção das sociedades como hoje são conhecidas. Ambas, provêm a população mundial com alimento de alto valor nutricional, como também contribuem com o meio ambiente, auxiliando na conservação do solo e da água, no ciclo de nutrientes e sequestro de carbono. Contudo, desde os anos 2000 a discussão acerca da contribuição do setor agropecuário com o aquecimento global, a partir das emissões de GEE, produzidas pelas mudanças no uso da terra e atividades agropecuárias, vem aumentando ano a ano. Ainda, é esperado que a população mundial alcance no ano de 2050 o número de 9,7 bilhões de pessoas, valor esse, 36% maior do que o atual. Por isso, faz-se necessário que as atividades agrícolas cresçam em conformidade com o crescimento da população e a preservação do meio ambiente, de forma a atender de forma sustentável esta crescente demanda por alimentos (UN, 2019).

A agropecuária global foi responsável em 2016 pela emissão de 5,8 Gt CO₂-eq, (CLIMATE WATCH, 2020). Tratando-se das emissões provenientes da atividade pecuária, diferentes fontes (IPCC, FAO, EPA) alegam que a população mundial de bovinos e a emissão de gás metano (CH₄) proveniente dos animais, é responsável por cerca de 7 a 18% das emissões antropogênicas de GEE (FAO, 2013). Por outro lado, a abordagem setorial indicada pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para os inventários de GEE, apesar de adequada, não faz um balanço das opções mitigatórias embutidas nos sistemas de criação pecuários. De modo que, as emissões provenientes do gado foram agregadas às emissões de outros setores, com o mesmo potencial nocivo ao planeta no tocante das mudanças climáticas.

Até o momento, a holística global dada as mudanças climáticas, se concentra no montante de gases de efeito estufa emitidos por cada setor. Para o futuro, é necessário reconhecer que apesar das emissões, certas atividades contribuem como sumidouro do gás carbônico (CO₂) presente na atmosfera, como no caso da agricultura (MITLOEHNER, 2020). No caso do CH₄, a discussão se concentra nos 560Tg emitidos a cada ano pela produção e uso de combustíveis fósseis, agricultura e tratamento de resíduos, queima de biomassa, aéreas alagadas e outras emissões naturais. Por outro lado, os sumidouros naturais presentes na agricultura e florestas

equivalem a 550Tg de CH₄ retirados da atmosfera anualmente, o que significa uma emissão líquida anual de 10Tg (GCP, 2020).

No chamado ciclo biogênico do carbono, o CH₄ emitido pelos animais em 12 anos por meio é convertido em CO₂ na atmosfera, ou seja, o carbono emitido pelos animais na realidade é reciclado. Provém do CO₂ atmosférico, capturado pelas gramíneas por meio da fotossíntese, ingerido pelos ruminantes e eructado novamente à atmosfera. O CH₄ é um GEE potente e não pode ser negligenciado, mas é inegável que o papel do gado nesse processo é ser componente fundamental para a ciclagem de nutrientes, e não vilão poluidor com parcela de responsabilidade sob o aquecimento global e as mudanças climáticas (WERTH, 2020). Como é o caso da produção e queima de combustíveis fósseis, o CO₂ liberado por esse processo demora cerca de 1000 anos para retornar as reservas geológicas. A magnitude desse período, oferece uma perspectiva do impacto de longa duração no clima, o qual não pode ser comparado a eructação do gado, que integra o ciclo biogênico do carbono em um prazo expressivamente reduzido (WERTH, 2020).

A cadeia produtiva da pecuária do Brasil movimentou R\$ 618,5 bilhões em 2019, com crescimento de 3,5% em relação ao ano anterior (ABIEC, 2020), sendo responsável por 8,5% do PIB total do país, configurando a bovinocultura como um dos principais destaques do agronegócio brasileiro nos cenários nacional e internacional. De acordo com a ABIEC (2020), em 2019, o Brasil possuía o segundo maior rebanho bovino do mundo, com cerca de 213,7 milhões de cabeças, e uma taxa de abate de 43,3 milhões de cabeças por ano, o que significa uma taxa de desfrute de 20,3%. No ano anterior foi o segundo maior produtor em equivalente carcaça, atrás dos Estados Unidos (10,8 e 12,5 mil toneladas, respectivamente) e maior exportador, comercializando um total 2,6 mil toneladas no mercado mundial (USDA, 2020).

Os primeiros indícios da agricultura na área do Reino Unido datam de 6000 anos atrás, quando os humanos começaram a domesticar plantas e animais nos tempos neolíticos (WOODBIDGE et al., 2014; MUHAMMED et al., 2018). Na atualidade, as pastagens representam mais de dois terços da área agrícola daquela região, agrupada em tipos temporários (1,2 milhão de ha), permanentes (6,1 milhões de ha) e pastagens nativas (5,0 milhões de ha) (DEFRA, 2016). Em 2015, as pastagens do Reino Unido abrigavam 9,9 e 33,3 milhões de cabeças de gado e ovinos,

respectivamente. Isso forneceu 15,2 milhões de toneladas de leite de vaca, 0,9 e 0,3 milhão de toneladas de carne bovina e ovina, respectivamente (DEFRA, 2016).

Globalmente, as pastagens são a forma dominante de agricultura por área terrestre, utilizada principalmente para o fornecimento de alimentos para ruminantes (GERSSEN-GONDELACH et al., 2017). Os sistemas de produção de bovinos a pasto, por exemplo, têm significativamente menores balanços entre emissões e remoções ao se contabilizar o dióxido de carbono (CO₂) atmosférico absorvido pelas gramíneas, promovendo estoque de carbono (C) no solo (SOUSSANA, 2010). Considerando que da superfície terrestre cerca de 3,7 bilhões de hectares são ocupados por áreas de pastagem permanentes, este potencial de sequestro pode variar entre 0,01 e 0,3 Gt C/ano (LAL, 2004).

Devido à capacidade das plantas de converter CO₂ em massa vegetal, por meio da fotossíntese; da conversão da massa de forragem e raízes mortas em matéria orgânica; e da manutenção da estrutura do solo, sistemas de pastagem possuem uma maior capacidade de sequestro de carbono do que o solo utilizado para a produção de culturas anuais em linha (RUSSELL, 2016). Nos últimos anos, a crescente intensificação da pecuária brasileira vem contribuindo para a melhoria dos indicadores de produção e a redução das emissões de GEE, em consequência, tem aumentado a demanda por pesquisas que apresentem estratégias mitigadoras, que possam se adaptar aos diferentes sistemas de produção empregados no país e que também contribuam para redução da idade ao abate e das emissões de GEE por kg de carcaça.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho e emissão de metano entérico de bovinos de corte, em diferentes sistemas de pastagem, diferenciados por seu manejo, tipo de integração com outras culturas ou o consórcio de forrageiras.

1.1.1. Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho de bovinos de corte em diferentes sistemas de criação em pastagem;
- Avaliar o GPV por hectare por ano obtido nos diferentes sistemas de criação em pastagem;
- Avaliar a emissão de metano entérico em g CH₄/animal/dia; em relação ao consumo de matéria seca (CMS), em kg CH₄/kg CMS; e em relação ao ganho médio diário (GMD), em kg CH₄/kg GMD
- Avaliar a intensidade de emissão de metano, em função do ganho médio diário e em relação ao ganho de peso vivo por hectare (gCH₄/kgGMD / GPV/há/ano);
- Avaliar a intensidade de emissão de metano por kg de produto (carçaça), em kg CH₄/kg de equivalente carçaça.

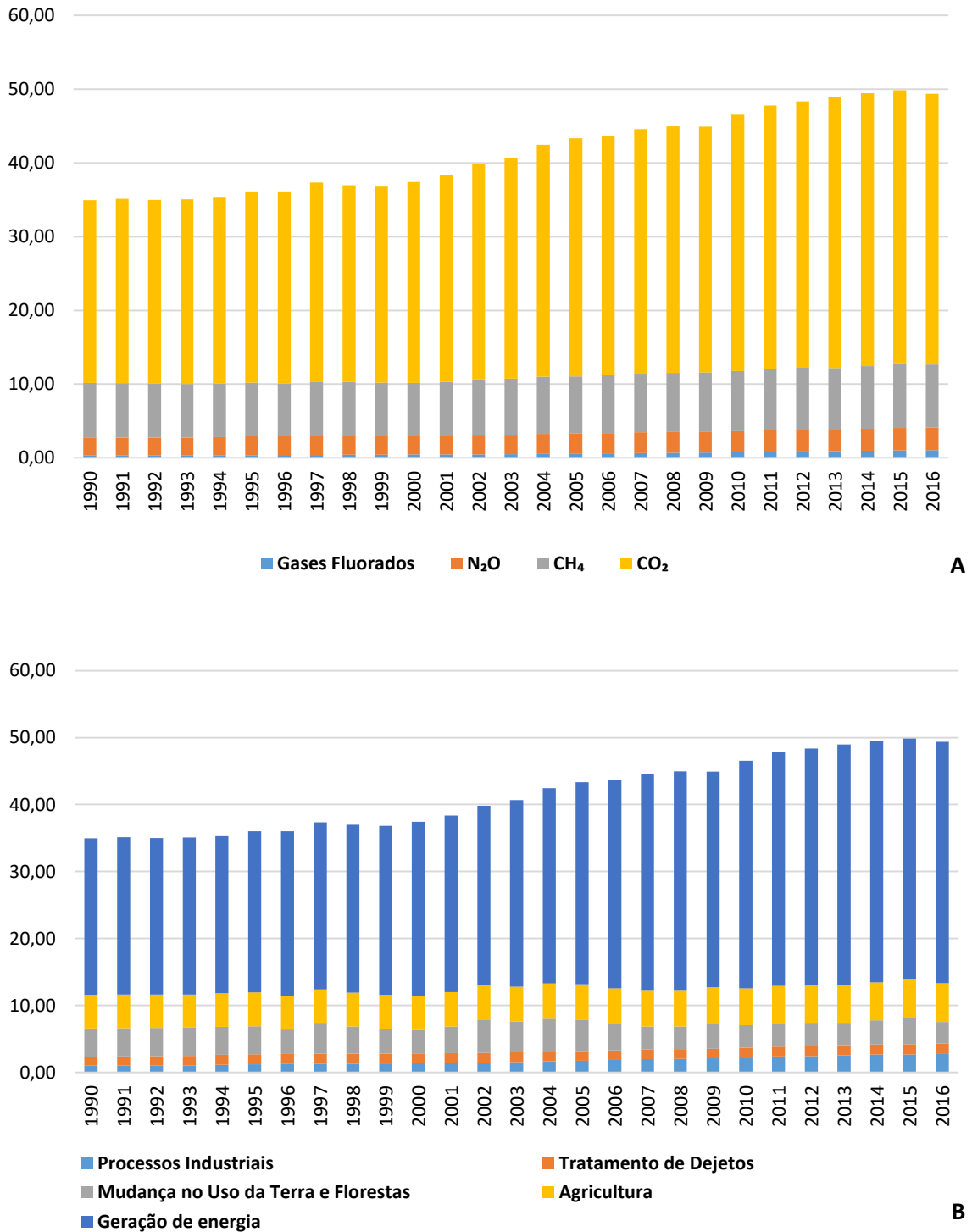
1.2. REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1. Aquecimento global, emissão de gases de efeito estufa nos setores da economia e na agricultura do Brasil e do Reino Unido

Desde o ano 2000, a discussão acerca do aquecimento global, por conta do aumento do efeito estufa decorrente de ações antrópicas, ou seja, daquelas causadas pela humanidade, cresceu de maneira significativa. O efeito estufa é um mecanismo chave na regulação da temperatura da Terra, sem o mesmo não seria possível a vida como hoje é conhecida, uma vez que a temperatura média em nosso planeta poderia ser de até -33°C . Este efeito ocorre a partir da energia solar (luminosa e térmica) que ultrapassa a atmosfera, atinge a superfície terrestre aquecendo-a e, em parte, é refletida, parte da energia térmica é absorvida pelos gases do efeito estufa (GEE), retendo e acumulando-a na atmosfera.

Ao longo das décadas, as emissões antrópicas de GEE vem aumentando expressivamente, chegando ao ano de 2016 a um total de 49,4 Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$, o que significa um aumento de 41% no comparativo 1990 – 2016. A representatividade neste montante dos principais gases de efeito estufa CO_2 , CH_4 , N_2O e clorofluorcarbonos foi respectivamente de 74; 17; 6 e 2% (Figura 1-A). No âmbito dos setores da economia global responsáveis pelas emissões (Figura 1-B), o setor de Geração de Energia foi responsável por 73%, seguido pela Agricultura (12%), Mudança do Uso da Terra e Florestas (7%), Processos Industriais (6%) e por fim, Tratamento de Dejetos (3%) (CLIMATE WATCH, 2020). Ainda, em relação ao montante do setor agrícola, cabe destacar que do total de emissões (5,8 Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$), 36,2% foram oriundas da fermentação entérica, processo digestivo natural dos herbívoros ruminantes (FAO, 2020).

Figura 1 – Emissões globais dos principais gases de efeito estufa e representatividade por setor da economia no total de emissões (49 ± 4,5 Gt CO₂-eq.)



Fonte: Adaptado de Climate Watch © 2020

Independentemente do nível de emissão, a mensuração da concentração dos diferentes gases que contribuem para o efeito estufa se faz importante, já que cada um possui específico potencial de aquecimento global. Essa unidade é reconhecida internacionalmente como *GWP (global warming potential)*, métrica utilizada para comparar e somar os diferentes GEE. O GWP é a medida de quanto uma determinada massa de certa substância química, contribui para o aquecimento global, durante um determinado período de tempo. Essa unidade é calculada em fator da razão entre o aquecimento causado pela substância e o aquecimento causado por uma massa equivalente de dióxido de carbono. Esses valores são calculados durante um período de 100 anos (DEMIREL, 2014). Na Tabela 1, são apresentados os principais gases de efeito estufa e seus GWP.

Tabela 1 - Potencial de aquecimento global dos principais gases de efeito estufa.

| Gás | Fórmula Molecular | GWP AR5-2014 |
|---------------------------|--------------------------|---------------------|
| Dióxido de carbono | CO ₂ | 1 |
| Metano | CH ₄ | 28 |
| Óxido nitroso | N ₂ O | 265 |

Fonte: Adaptado de IPCC (2014).

Apesar de ao longo do tempo o setor de Geração de Energia que engloba a queima de combustíveis fósseis, ter a maior representatividade nas emissões de GEE, a preocupação com as emissões provenientes da Agricultura e Mudança do Uso da Terra e Florestas vem ganhando crescente atenção da sociedade. Tornou-se essencial que esses setores continuem inovando na produção e permaneçam ofertando alimento de alto valor nutricional às populações e, ao mesmo tempo, minimizem os impactos ambientais da produção agrícola e pecuária (STEINFELD et al., 2006; EISLER et al., 2014; CARO et al., 2016).

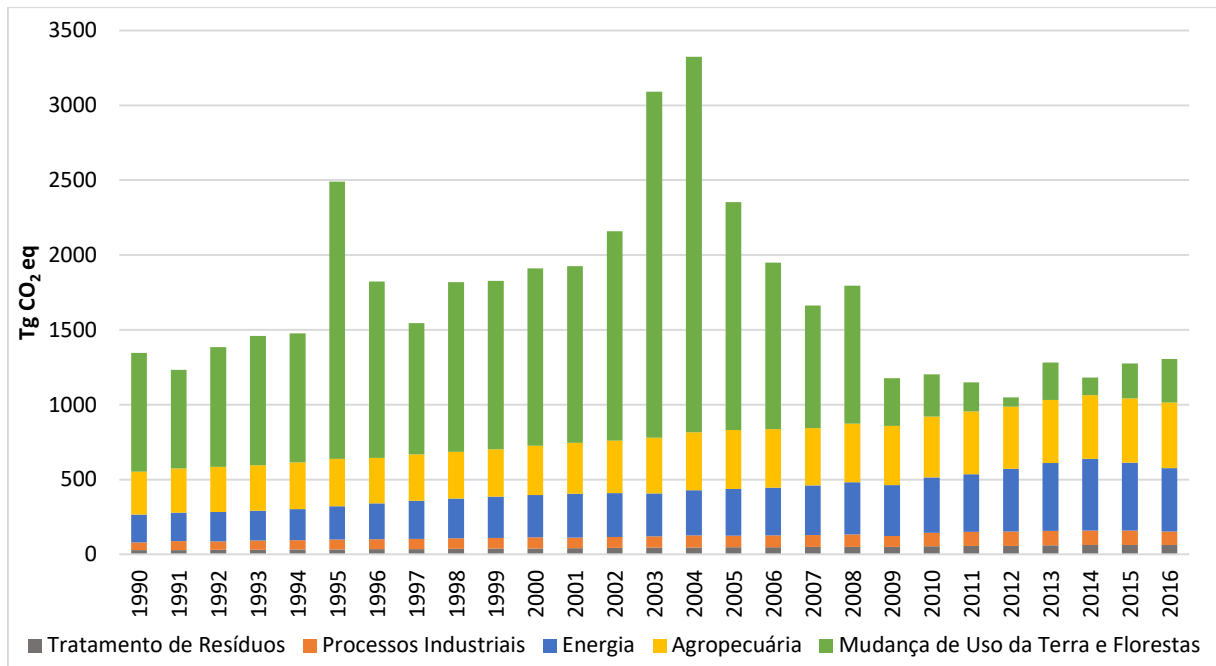
É estimado que, em 2050, a população mundial alcance 9,7 bilhões de pessoas, gerando assim, um aumento no consumo global de alimentos, em particular daqueles de origem animal, em função do aumento da renda da população e do processo de urbanização, principalmente nos países em desenvolvimento (UN, 2020). Estes fatores aumentam a pressão sobre os setores produtores de alimentos.

Para intensificar a produção de alimentos os sistemas de produção deverão ser constantemente reformulados para aumentar sua eficiência, proteger o meio ambiente e/ou promover a recuperação ecológica (CARVALHO et al., 2010; SALTON et al., 2014). A transição para sistemas mais eficientes é realmente considerada uma estratégia importante para aumentar a produção de alimentos, reduzir o desmatamento e poupar terras para outros usos, incluindo a recuperação ambiental (WATANABE; ORTEGA, 2014; BULLER et al., 2015).

O Brasil, possui a segunda maior área de florestas do mundo, com cerca de 50,9% (500 milhões de hectares) de seu território preservado com florestas (SFB, 2019), enfrenta o desafio de equilibrar a produção agrícola com a proteção ambiental. Como importante participante no mercado agrícola mundial, é esperado que o Brasil atenda a uma parcela significativa da crescente demanda global por alimentos nas próximas décadas, garantindo que o aumento na produção agrícola não ameace o meio ambiente (ARVOR et al., 2012).

Na Figura 2, são apresentadas as emissões brutas de GEE por setor no Brasil, é possível observar uma mudança no perfil de emissões principalmente no setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUTF). As emissões deste setor estão relacionadas sobretudo a derrubada de florestas para especulação fundiária e abertura de novas áreas agrícolas e para pecuária. Até o ano de 2004, houve intensa conversão de áreas de floresta principalmente na Amazônia legal, em áreas de pastagem, quando em contrapartida, foi aplicado o “Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal”, onde políticas públicas auxiliaram a aumentar e melhorar o monitoramento e fiscalização das florestas (MCC, 2004), resultando em considerável redução do desmatamento, e conseqüentemente no perfil das emissões relacionadas a este setor (MCTIC, 2017).

Figura 2 - Emissões brutas de gases de efeito estufa no Brasil, por setor, de 1990 a 2015



Fonte: Adaptado de MCTIC (2020)

Desde 2012, vem sendo observada uma tendência de aumento nas emissões, por outro lado, setorialmente pode-se observar variações distintas, enquanto setores apresentam redução, outros apresentam aumento. No ano de 2016, os setores Agropecuária, Energia e Mudança de Uso da Terra e Florestas foram responsáveis por 33,6; 32,4 e 22,3% do total de emissões, respectivamente, enquanto os setores de Processos Industriais e Tratamento de Resíduos 6,9 e 4,8%. Em relação ao ano anterior (2015), as emissões totais foram 2,4% maiores. Os setores de Energia e Processos Industriais, apresentaram redução nas emissões 7,0% e 6,3%, respectivamente, este decréscimo está ligado a diminuição da atividade industrial, e queda da queima de combustíveis fósseis no transporte rodoviário, devido a recessão econômica no país.

A Agropecuária registrou aumento de 2,3% em suas emissões, pelo aumento do número de cabeça de gado e produção de determinadas culturas agrícolas. No setor MUTF, houve um aumento de 24,8% das emissões líquidas, em decorrência do aumento do desmatamento no bioma Mata Atlântica e Amazônia. Por fim, o setor Tratamento de Resíduos, o aumento foi da casa de 1,5% em relação a 2015, devido ao aumento populacional e proveniente de aterros sanitários (MCTIC, 2020).

A Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC) foi instituída em 2009, após a 15ª Conferência das Partes (COP15) Copenhagen, Dinamarca. Onde o país propôs uma meta de redução voluntária de emissões entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas até o ano de 2020. Estimadas em 3,24 Gt CO₂-eq, a redução a ser alcançada com base no percentual estabelecido seria de 1,214 Gt CO₂-eq., para que dessa forma, o limite de 2,068 Gt CO₂-eq. definido para o ano de 2020, não seja ultrapassado (MCTIC, 2020).

Em Paris, durante a COP21 (2015), o compromisso foi nominalmente convertido em uma Contribuição Nacional Independentemente Determinada (INDC). Sendo proposta uma meta de redução adicional até o ano de 2025 da casa de 37%, tendo como ano base 2005, onde as emissões totais foram de 2,1 bilhões de tCO₂e. O que corresponde a uma emissão máxima de 1,3 bilhões de toneladas de tCO₂e. Foi também proposta uma redução subsequente para o ano de 2030 no montante de 43% em relação a 2005, passando a um total estabelecido de 1,2 bilhões de tCO₂e. [GWP-100; IPCC AR5] (MMA, 2020). Na Tabela 2 estão listadas as principais iniciativas a serem tomadas em cada setor para que essas metas sejam atingidas.

Tabela 2 – Principais iniciativas por setor da economia brasileira para redução das emissões de GEE

| Setor | Medidas |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mudança do Uso da Terra e Florestas | Assegurar o cumprimento do Código Florestal, em todo país. |
| | Fortalecer políticas públicas com objetivo de alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030. |
| | Reflorestar ou restaurar 12 milhões de ha de florestas até 2030. |
| Energia | Alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, |
| | Expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a participação de fontes como a eólica, biomassa e solar. |
| | Alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030. |
| Agricultura | Fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, inclusive por meio da restauração adicional de 15 milhões de ha de pastagens degradadas até 2030 e pelo incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF) até 2030. |
| Indústria | Promover novos padrões de tecnologias limpas e ampliar medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono. |
| Transportes | Promover medidas de eficiência, melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas. |

Adaptado de MCTIC (2020)

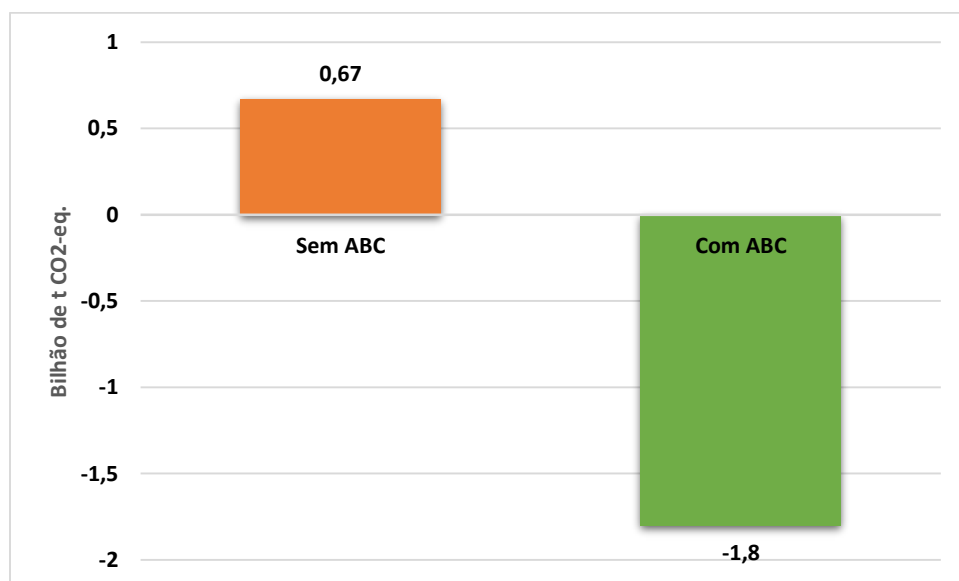
Uma importante iniciativa do governo brasileiro para o setor da Agropecuária, foi a criação do Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) em 2010, após seu anúncio em 2009, na COP15. O programa tem como objetivo promover o desenvolvimento da agropecuária reduzindo o desmatamento e as emissões de GEE por meio da restauração de pastagens degradadas; implantação de sistemas integrados lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF); plantio direto; fixação biológica de nitrogênio; restauração de florestas e tratamento de resíduos animais (MAPA, 2018).

Em uma estimativa do potencial de mitigação ao se empregar as tecnologias propostas no Plano ABC (GURGEL; COSTA, 2015), adotando-se um cenário onde,

dos 160 milhões de hectares de pastagens degradadas estimados no ano de 2015, 75% seriam recuperados e 25% seriam recuperados com a adoção de sistemas integrados, como ILP e ILPF. Após 11 anos de recuperação e manutenção das pastagens o acúmulo de carbono no solo poderia chegar a 0,48 bilhão t CO₂-eq. e se tratando dos sistemas integrados a 0,63 bilhão t CO₂-eq.

Independente de que haja aumento no número de animais dentro do sistema, e conseqüentemente, nas emissões provenientes da fermentação entérica, as mesmas podem ser neutralizadas pelo armazenamento de carbono no solo e nos troncos das árvores. A partir da recuperação das pastagens e implantação dos sistemas ILP e ILPF, o aumento na produção pode passar de 0,75 UA/ha para até 2,5 UA/ha. O potencial de mitigação devido ao sequestro e estoque de carbono se adotadas as práticas propostas no plano ABC, pode chegar a 1,8 bilhão t CO₂-eq. no período destacado anteriormente, demonstrando o potencial de mitigação da atividade agropecuária. Na Figura 3, é apresentada uma perspectiva do balanço de emissões entre 2012 e 2023, sem e com a adoção das tecnologias de recuperação de pastagens, intensificação e implantação de sistemas integrados (ILP e ILPF) (GURGEL; COSTA, 2015).

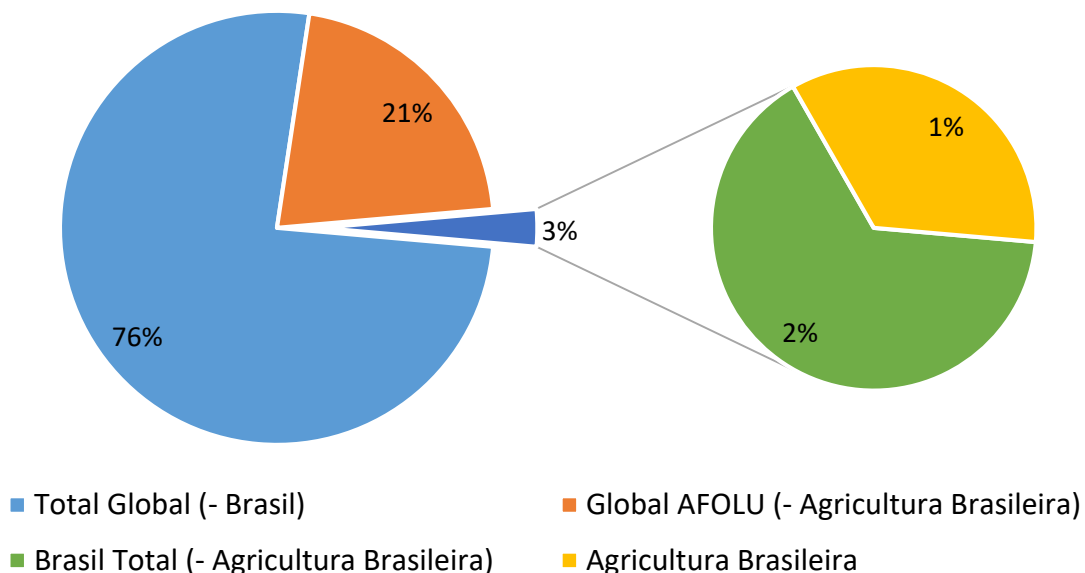
Figura 3 - Potencial de aumento e potencial de mitigação de GEE ao se adotar ou não as técnicas do Programa ABC



Fonte: Adaptado de GURGEL; COSTA (2015).

Em 2016, a agricultura brasileira foi responsável por 33,6% (439 Tg CO₂-eq) do total das emissões nacionais de gases de efeito estufa, enquanto a mudança no uso da terra respondeu por 22,3% (291 Tg CO₂-eq) (MCTIC, 2020). Dentro do setor agrícola as emissões relacionadas a fermentação entérica foram as mais representativas correspondendo por 19% (248 Tg CO₂-eq) das emissões brasileiras. Considerando que o total das emissões brasileiras alcançaram 1,3 Gt CO₂-eq. em 2016 (2,6% das emissões globais), as emissões provenientes da agricultura brasileira representaram aproximadamente 1,0% do total das emissões globais (Figura 4) (MCTIC, 2020).

Figura 4 - Representação das emissões de GEE da agricultura brasileira em comparação as emissões globais (Gt CO₂eq. e percentual)

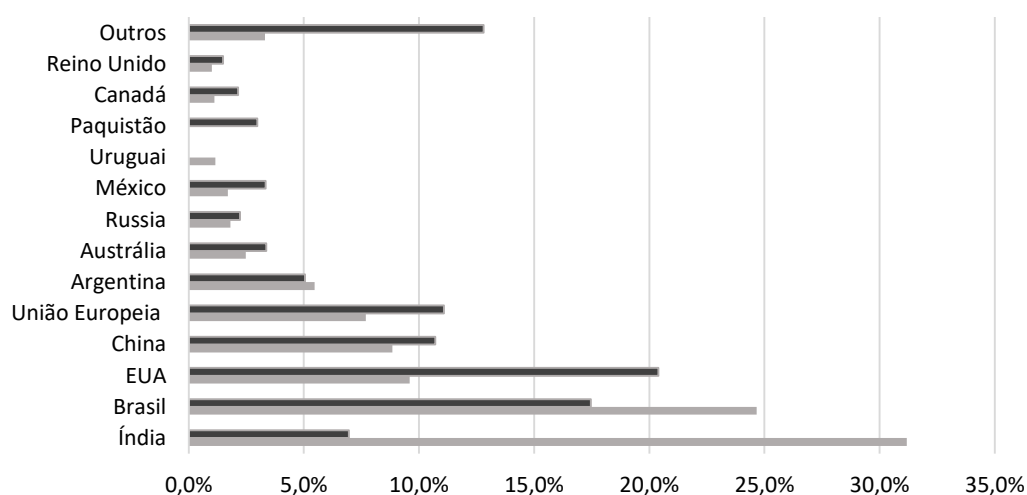


Fonte: Adaptado de IPCC (2014); MCTI (2020).

O rebanho mundial de bovinos de corte continua apresentando crescimento, sendo estimado no ano de 2019 em aproximadamente 1 bilhão de cabeças (USDA, 2020). Deste total, quatro países e a União Europeia abrigam mais de 80% dos animais: Índia (31,2%), Brasil (24,7%), China (8,8%), EUA (9,6%) e União Europeia (8,7%), de acordo com o USDA (2020). Segundo a publicação Agricultural Outlook (OECD-FAO, 2016), a produção de carnes deverá ser 16% maior em 2025 comparada a produção do ano de 2016. Nos países em desenvolvimento, a projeção para a

necessidade de aumento da produção de carne bovina é ainda maior durante esta mesma época, alcançando 20%, e o Brasil ainda é visto como um dos países com grande potencial para suprir essa demanda. O Brasil ocupa uma importante posição no mercado internacional de carne bovina, sendo o segundo colocado em produção, atrás dos Estados Unidos, e frequentemente, primeiro exportador, disputando com Índia e Austrália (Figura 5).

Figura 5 - Ranking dos países com maiores rebanhos de bovinos e com maior produção de carne bovina em 2019



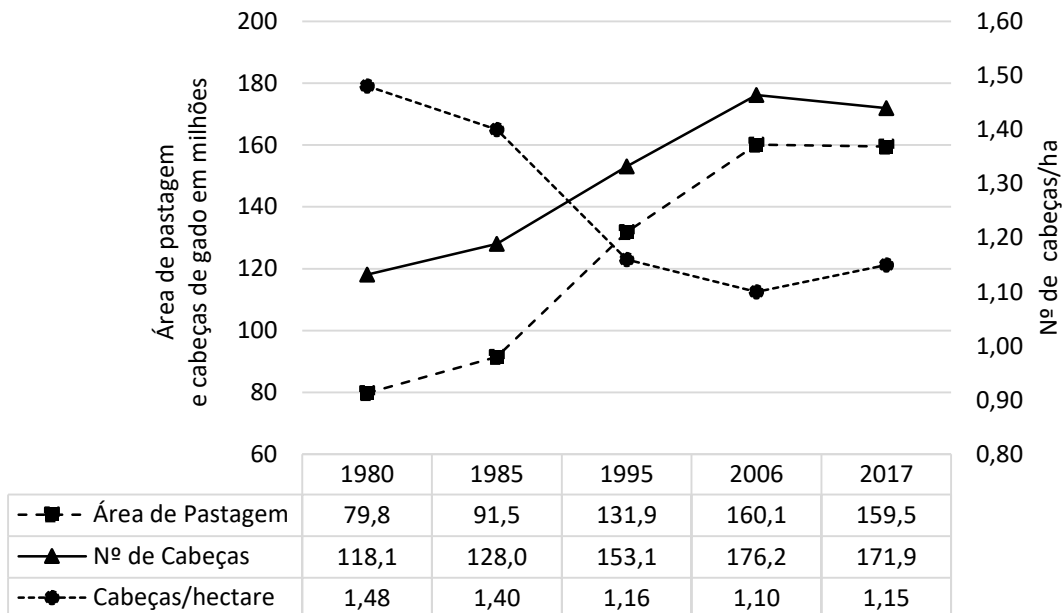
| | Índia | Brasil | EUA | China | União Europeia | Argentina | Austrália | Rússia | México | Uruguai | Paquistão | Canadá | Reino Unido | Outros |
|-------------------------|-------|--------|-------|-------|----------------|-----------|-----------|--------|--------|---------|-----------|--------|-------------|--------|
| ■ % da Produção mundial | 7,0% | 17,5% | 20,4% | 10,7% | 11,1% | 5,1% | 3,4% | 2,2% | 3,3% | | 3,0% | 2,1% | 1,5% | 12,8% |
| ■ % do Rebanho mundial | 31,2% | 24,7% | 9,6% | 8,8% | 7,7% | 5,5% | 2,5% | 1,8% | 1,7% | 1,2% | | 1,1% | 1,0% | 3,3% |

Fonte: Adaptado de USDA (2020); AHDB (2019).

É importante salientar que, entre os anos de 2005 a 2015, as emissões brasileiras relacionadas à fermentação entérica aumentaram de 235,5 para 248,2 Tg CO₂-eq representando um aumento de 5% (MCTIC, 2020). Por outro lado, neste mesmo período a produção de carne bovina passou de 8,6 Mt para 9,3 Mt de equivalente carcaça, apresentando um aumento de 8% (USDA, 2020), demonstrando que o aumento na produção despontou em relação as emissões. Este aumento constante no volume produzido equiparado às emissões vem sendo alcançado por meio da intensificação da produção e conseqüentemente resultando em melhores índices de produtividade, uma vez que no período de 2006 a 2017 a área ocupada por

pastagens no Brasil manteve-se estável, mas por outro lado, houve aumento no número de cabeças por hectare (4,5%) (IBGE, 2019) (Figura 6).

Figura 6 – Evolução das áreas de pastagens e número de cabeças por hectare de 1980 a 2017



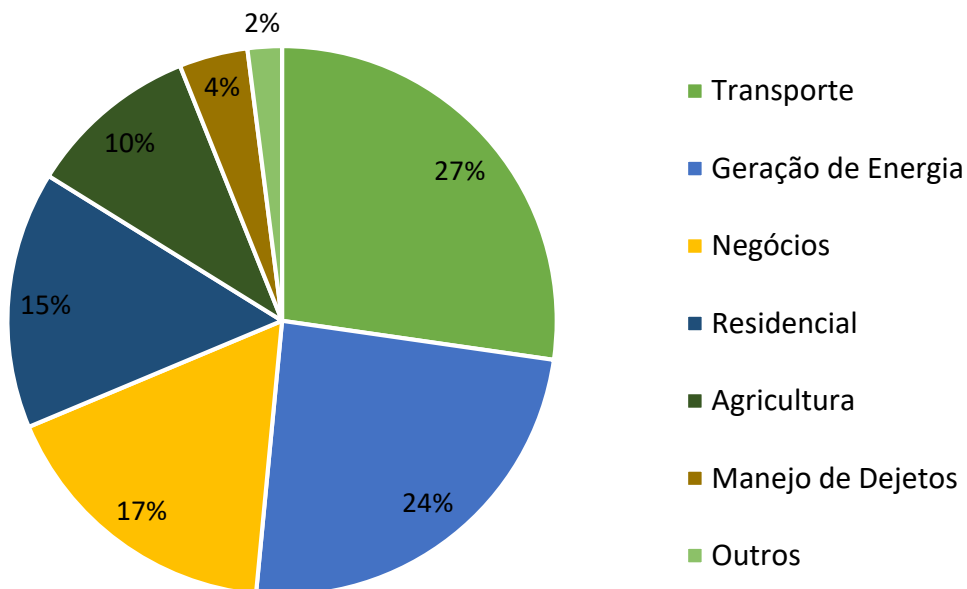
Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

No Reino Unido, de acordo com estimativas do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial, no ano de 2018, as emissões totais de gases de efeito estufa (448,7 Mt CO₂-eq.), foram 43,5% inferiores em comparação a 1990 e 2,5% menores em relação a 2017 quando as emissões totais foram estimadas em 460,2 Mt CO₂-eq. Naquele mesmo ano, as emissões líquidas de dióxido de carbono, foram estimadas em 364,1 milhões de toneladas (Mt), 2,4% abaixo do valor de 373,2 Mt de 2017. O dióxido de carbono (CO₂) é o principal GEE emitido, e representa 81% do total das emissões totais do país. O decréscimo das emissões destes GEE, foi impulsionado principalmente pela queda nas emissões do setor de geração de energia, com uma redução de 9,9% entre 2017 e 2018. Esse resultado é devido principalmente a mudanças nas fontes de combustível utilizado na geração de eletricidade, que se afastam cada vez mais do uso do carvão e se aproximam de energias renováveis (DECC, 2019).

Ao contrário do IPCC (2014), que divide as emissões em 6 setores (eletricidade e produção de calor; construção civil; transporte; indústria; agropecuária e uso da

terra; outras fontes), o Reino Unido apresenta suas emissões no último inventário de emissões de GEE divididas em 7 setores (transporte; geração de energia; negócios; residencial; agricultura; manejo de dejetos; outros) (Figura 7). Quando discriminadas por GEE, as emissões são dominadas pelo CO₂, que é estimado em cerca de 81% e ao se ponderar pelo potencial de aquecimento global (GWP), o metano, óxido nitroso e gases fluorados são responsáveis por 11, 4 e 3% das emissões respectivamente (DECC, 2019).

Figura 7 - Representatividade por setor da economia na emissão GEE no Reino Unido

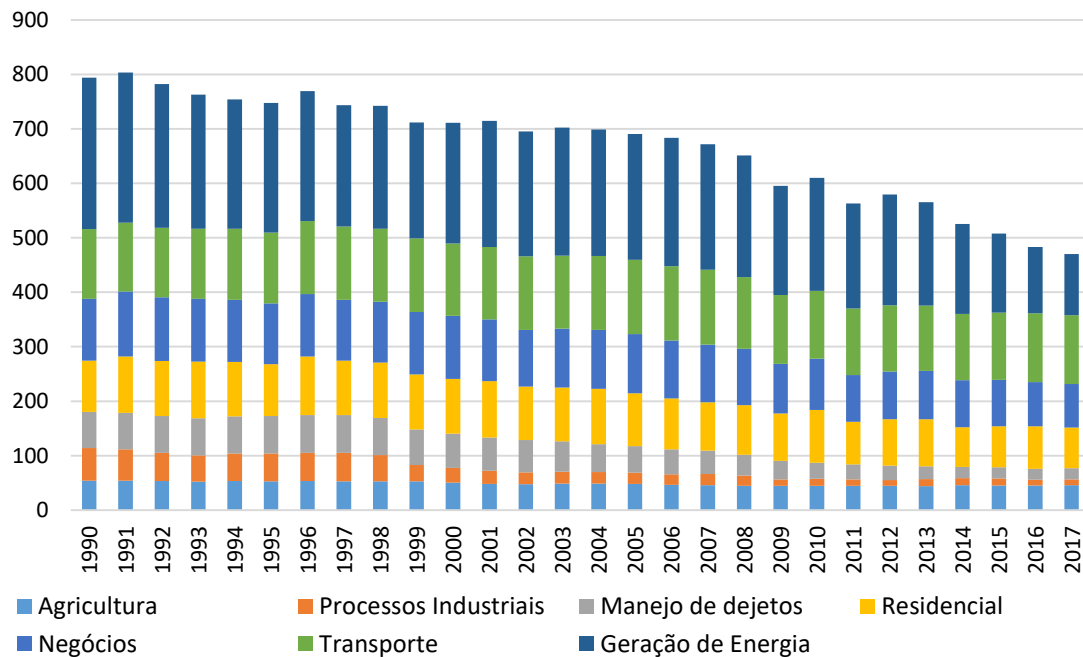


Fonte: Adaptado de: DECC (2019).

O Reino Unido tem metas domésticas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa definidas pela Lei de Mudanças Climáticas de 2004, que estabeleceu uma estrutura legal de longo prazo para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, comprometendo o Reino Unido a reduzir as emissões em pelo menos 80% abaixo das linhas de base de 1990 até 2050. Esta lei também estabelece limites à quantidade total de emissões de GEE a serem emitidos em períodos pré-determinados de 5 anos, sendo que no primeiro período de 2008 a 2012 as emissões foram da ordem de 36 Mt CO₂-eq abaixo do limite de 3.018 Mt CO₂-eq. e no último período avaliado 2013-2017

(Figura 8) as emissões foram da ordem 383,9 Mt CO₂-eq. e abaixo do limite de 2.782 Mt CO₂-eq. (DECC, 2019).

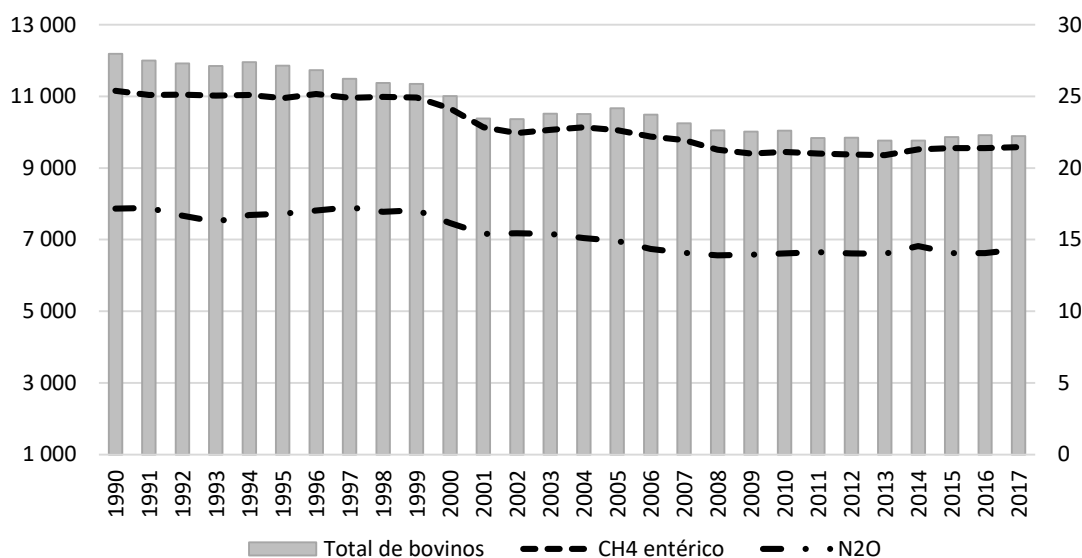
Figura 8 - Evolução das emissões de GEE por setor da economia do Reino Unido (1990-2017)



Fonte: Adaptado de: DECC (2019).

O setor agrícola compreende em emissões de gado, solos agrícolas, fontes estacionárias de combustão e máquinas agrícolas. Estima-se que tenha sido responsável por 10% das emissões de gases do efeito estufa do Reino Unido em 2017. As emissões de metano (56%) e óxido nitroso (31%) dominam esse setor. As fontes mais significativas aqui são as emissões de metano devido à fermentação entérica dos ruminantes, particularmente bovinos; e emissões de óxido nitroso relacionadas ao uso de fertilizantes em solos agrícolas (Figura 9). Entre 1990 e 2017, as emissões de gases de efeito estufa do setor agropecuário diminuíram cerca de 16%, com uma tendência geral de queda nas emissões desde o final dos anos 1990. Isso foi causado por uma queda no número de cabeças de gado, juntamente com uma diminuição no uso de fertilizantes sintéticos. Entre 2016 e 2017, houve um aumento de 1% nas emissões do setor agrícola (DECC, 2019).

Figura 9 - Evolução da população de bovinos e das emissões de CH₄ e N₂O provenientes da agricultura no Reino Unido (1990-2017)



Fonte: Adaptado de: DECC (2019); AHDB (2019).

No ano de 2015, o rebanho do Reino Unido era de cerca de 9,92 milhões de bovinos, com uma taxa de abate de 1,97 milhões de cabeças por ano (taxa de desfrute = 19,9%) e uma movimentação econômica na ordem de 3,136 milhões de libras esterlinas. O consumo *per capita* médio no Reino Unido é de cerca de 18,4 kg de carne bovina por ano. O Reino Unido é 75% autossuficiente na produção de carne bovina, exportando cerca de 24.000 toneladas principalmente para a União Europeia e importando por volta de 60.000 t (NBA, 2020).

1.2.2. Sistemas de criação em pastagem no Brasil

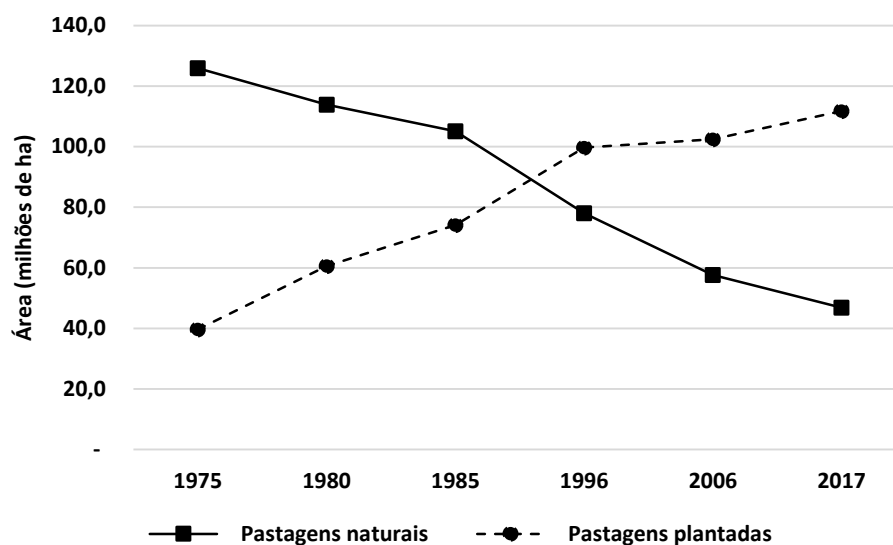
O Brasil é um país com dimensões continentais e clima favorável para produção forrageira quase que na totalidade de seu território, o que permite que os animais sejam mantidos nas pastagens durante o ano todo. Com isso, cerca de 86% da carne bovina produzida no país, é oriunda de animais criados em regime de pastagens (ABIEC, 2020). Essa particularidade aumenta a competitividade deste produto no mercado mundial, isso porque, o mesmo é produzido com menor custo, por demandar menor emprego de mão de obra, maquinário, combustível e infraestrutura. A carne produzida a pasto (no inglês *grass-fed-beef*), também apresenta melhor perfil de

ácidos graxos e maior seguridade do ponto de vista sanitário (EMBRAPA, 2018). Essas características por um lado são vantajosas, mas por outro, contribuem com uma tradição de baixo investimento no uso da tecnologia, insumos, implantação e manejo de grande parte das pastagens brasileiras.

Em contrapartida, nos últimos anos, pressões ambientais e de mercado, além da disponibilidade de tecnologia (técnicas de recuperação, manejo, cultivares mais produtivos, mérito genético do rebanho, etc.) vem impulsionando uma mudança do cenário da pecuária em pastagens (DIAS-FILHO, 2014). É crescente o número de pecuaristas que estão buscando aperfeiçoar a atividade pecuária, com objetivo de obter maior produtividade (MARTHA JUNIOR et. al., 2012). Sendo que, aumentar a produção com o uso consciente de áreas e recursos, vem se tornando uma necessidade para a manutenção da atividade (DIAS-FILHO, 2014).

Desde o Censo Agropecuário de 1975, vem sendo observada a substituição das áreas de pastagem naturais, por pastagens cultivadas, (Figura 10) estas possuem maior potencial produtivo e melhor qualidade quando bem manejadas. Por outro lado, ao se adotar o plantio de espécies forrageiras de melhor qualidade, estas serão mais exigentes em fertilidade, e a falta de correto manejo, correção e adubação do solo, pode ocasionar em rápido declínio da produtividade (MORAES et.al., 2000). Até o Censo Agropecuário de 1985, as áreas de pastagens naturais superavam as plantadas, porém, a partir de 1996 essa tendência foi invertida. Em 2017, dos 159,5 milhões de hectares, foi estimado que cerca de 70% das áreas sejam de pastagens plantadas enquanto os outros 30% restantes, pastagens naturais (IBGE, 2019).

Figura 10 - Evolução das áreas de pastagens naturais e plantadas no Brasil entre 1975 e 2017



Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

A degradação de pastagens pode ser definida como:

- a queda acentuada e contínua da produtividade do pasto no decorrer do tempo, muitas vezes indicada pela redução na capacidade de suporte (número de animais mantidos em uma mesma área sem que haja prejuízo para o desempenho dos animais e produção da pastagem); o aumento percentual de plantas daninhas; e de áreas de solo descoberto (sem vegetação).

Este processo está presente em todas as regiões do Brasil, contribuindo para que uma proporção considerável das áreas de pastagens no país, estejam sendo utilizadas muito abaixo do seu real potencial (DIAS-FILHO, 2017). Os dados sobre áreas de pastagem degradadas e em degradação no Brasil não são abundantes e divergem entre fontes de informação. O Censo Agropecuário de 2017 indica que dos 70% de pastagens plantadas, 7% estão em más condições, não relatando este montante nas pastagens naturais. Segundo o Atlas Digital das Pastagens Brasileiras (LAPIG-UFG, 2019), uma área de 61,7 milhões de hectares pode ser considerada degradada, cerca de 35,2% da área total de 180,9 milhões de hectares estimados como área de pastagem por seus desenvolvedores em 2017.

Sistemas de pastagem possuem dinâmicas complexas de funcionamento que compreendem uma série de componentes (solo, forrageira, clima, adubação, animais,

lotação), que interagem entre si de diferentes maneiras (PEDREIRA et al., 2004). Quando são bem manejados apresentam significativas menores emissões de GEE ao se contabilizar o dióxido de carbono (CO₂) atmosférico absorvido pelas gramíneas, promovendo estoque de carbono (C) no solo (SOUSSANA, 2010).

Uma das limitações para o crescimento das gramíneas, é a estacionalidade do clima, já que as estações chuvosa e seca são bem definidas. Isso interfere diretamente no crescimento e contribui para uma oscilação no acúmulo de forragem, principalmente quando o manejo adotado é o extensivo. Para se obter um maior retorno da atividade pecuária, o foco não deve ser apenas o ganho animal, mas o sistema de pastagem¹ como um todo. Solo e conseqüentemente forrageira necessitam ser manejados corretamente, para que sejam alcançados bons níveis de produção.

Nos sistemas de produção em pastagem, o manejo do pasto é alterado de acordo com o objetivo e os recursos disponíveis para manutenção da área. O manejo de pastagem tem por objetivo produzir o maior número de plantas possíveis em determinada área, com maior proporção de folhas jovens em relação a colmos e material senescente. Na lotação contínua², o rebanho tem acesso irrestrito e ininterrupto a área de pastagem, na maior parte das vezes criados extensivamente. Um dos pontos positivos da lotação contínua e manejo extensivo é a menor demanda de mão de obra, já que o rebanho permanece na mesma área o tempo todo, e o deslocamento limitasse ao manejo sanitário, entrada e saída de animais no lote (MORCELLI, 2019).

A pressão exercida sobre a forrageira neste tipo de lotação é maior, uma vez que, a permanência ininterrupta do gado dificulta a rebrota e crescimento das gramíneas, aumentando a quantidade de material danificado por pisoteio. Além disso, no caso de ataque de pragas, incêndio, estiagem prolongada ou erro de manejo, se não houver outra área para alocar os animais, o produtor pode ser forçado a se

¹ É a combinação definida e integrada do animal, da planta, do solo e de outros componentes do ambiente e o(s) método(s) de pastejo pelo (s) qual (is) o sistema é manejado para atingir resultados ou objetivos específicos.

² Método de pastejo em que o rebanho tem acesso irrestrito e ininterrupto a toda à pastagem, durante toda a estação de pastejo.

desfazer de parte ou do total do lote. O que ocorre na prática é o super-pastejo³ no inverno e sub-pastejo⁴ no verão. O vigor de rebrota, perfilhamento e acúmulo de forragem⁵, são menores, tendo como consequência uma menor capacidade de suporte. No sistema como um todo, esses fatores levam a uma menor produtividade/área, já que o número de animais é reduzido, comparado a sistemas com maior aporte de tecnologias. No Brasil, os sistemas de criação extensivos com lotação contínua, predominam em comparação a sistemas com tecnologias empregadas que contribuem para o aumento da produção pecuária (MORCELLI, 2019).

O pastejo por lotação contínua geralmente promove o consumo desuniforme das forrageiras na área, o que resulta no consumo repetitivo da mesma planta, enquanto outras disponíveis no piquete acabam passando do ponto ideal de pastejo (RUSELL et al., 2016). Neste tipo de manejo, se não houver o controle criterioso da lotação, pode ocorrer queda no crescimento da forragem, no teor de matéria orgânica do solo e conseqüentemente do sequestro de carbono. Além disso, na falta do pasto, o animal demora mais para chegar ao peso de abate, aumentando seu ciclo de vida e, conseqüentemente, o tempo em que permanece emitindo metano. Também pode resultar em maiores emissões de CH₄ ruminal, quando há o consumo de alimento com menor valor nutricional (pasto “passado”), já que o material apresentará maior teor de fibra lignificada permanecendo mais tempo no rúmen.

É importante neste ponto, que começa a haver uma quebra de paradigma, e que seja dada uma holística mais empresarial a atividade pecuária, sendo que, a pecuária extensiva de baixa lotação seja alocada apenas em áreas que a agropecuária intensiva não entra, ou não cabe. Formando assim, um mosaico interessante de utilização das áreas agrícolas já disponíveis, entre agricultura intensiva em áreas mais aptas e pecuária semi-intensiva ou extensiva nas demais.

³ Caracteriza-se pelo pastejo intensivo e frequente das pastagens, acarretando danos à vegetação, com possíveis perdas de espécies forrageiras valiosas. É o pastejo numa intensidade acima da capacidade de suporte da pastagem

⁴ O pastejo se realiza a uma baixa pressão, o que permite elevada seleção da dieta pelo animal e o acúmulo de forragem e até mesmo, a perda de grande parte dessa forragem. É o pastejo numa intensidade bem inferior à capacidade de suporte da pastagem.

⁵ É o resultado do balanço entre os processos de produção de forragem e de senescência de forragem. É o que efetivamente está “disponível” para o animal em pastejo, considerando que o material morto ainda na planta, já não tem grande valor nutritivo e é rejeitado pelo animal.

Na lotação rotativa⁶, são respeitados períodos recorrentes de pastejo e descanso, entre duas ou mais subdivisões (piquetes) na pastagem. Os animais alternam a área de pastejo de acordo com os períodos de descanso e ocupação pré-determinados. Esse método é utilizado no geral em sistemas de produção intensificados, demandando assim, maior mão de obra e insumos. A rotação do gado na pastagem possibilita um aumento da carga animal sem prejudicar o crescimento da forrageira. Com o ajuste da altura da forragem na entrada e saída dos animais, e ao se respeitar a altura de resíduo necessário para rebrota eficiente da planta, se torna possível produzir maior quantidade de massa forrageira (MORCELLI, 2019).

A rotação promove taxa de perfilhamento e rebrota mais acelerados que na lotação contínua permitindo trabalhar com lotes maiores. Se a área for bem manejada, a rebrota e desbaste são constantes, dessa forma, há um aumento na relação folha colmo, melhorando a digestibilidade e valor nutricional do pasto. O uso do pastejo rotacionado é uma estratégia bastante eficiente de produção de forragem, principalmente no inverno, quando as temperaturas são mais baixas, os dias mais curtos e a precipitação menor. O sistema de rotação possibilita a utilização de cultivares de gramíneas mais produtivos e com menor resistência ao pisoteio. Uma forma de intensificar a produção e incrementar ainda mais a eficiência produtiva da forragem, é o uso da correção e adubação do solo, além da reforma de áreas que apresentam indicativos de queda na produção ou até processo de degradação (DIAS-FILHO, 2014). Na tabela 3, são apresentados índices zootécnicos que podem indicar se a pastagem está em processo de degradação.

⁶ Método de pastejo que usa períodos recorrentes de descanso e de pastejo entre duas ou mais subdivisões (piquetes) numa pastagem durante a estação de pastejo.

Tabela 3 - Índices zootécnicos que podem indicar se a pastagem está em processo de degradação

| Índice | Baixa produtividade | Sistema tecnificado |
|----------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Taxa de natalidade (%) | 60 | 85 |
| Taxa de mortalidade até a desmama (%) | 4 | 2 |
| Idade ao primeiro parto (anos) | 4 | 2,5 |
| Idade ao abate (anos) | 4,5 | 2,5 |
| Lotação (cabeças/ha) | 0,7 | 2,5 |

Adaptado de DIAS-FILHO (2014).

Quando é adotado o regime de pastejo rotacionado com controle criterioso da taxa de lotação, há redução da seletividade, permitindo um consumo mais homogêneo da forragem e dessa forma, a mesma se mantém em estado vegetativo por mais tempo, o que resulta em maior sequestro de CO₂, maior digestibilidade e maior disponibilidade de nutrientes para os animais, com consequente menor emissão de CH₄ por kg de forragem consumida (RUSSELL et al., 2016).

Independente do sistema de pastejo adotado e do manejo, é importante respeitar os limites do solo e da planta. Tratar o crescimento da forrageira como cultivo e o pastejo como colheita, para assim, garantir melhores níveis de acúmulo de forragem, não apenas para o animal, mas para manutenção da forrageira, cobertura e matéria orgânica do solo. Esses fatores são fundamentais para se obter bons índices produtivos. É preciso que o pecuarista, tenha uma visão empresarial da propriedade e encare a atividade de maneira profissional, tornando assim a pecuária um negócio cada vez mais lucrativo.

O manejo intensivo das pastagens, busca integrar técnicas que aumentam a produtividade da pecuária com o máximo aproveitamento dos pastos. Com a adoção de tecnologias como correção e adubação do solo, irrigação e o pastejo rotativo. Seguindo esses mesmos princípios, outra possibilidade para a intensificação da pecuária é a integração do sistema de pastagem com a lavoura (integração lavoura-pecuária - ILP), para produção de grãos (milho, sorgo, soja, feijão, girassol) ou silagem (milho, sorgo, girassol). Os sistemas agrícolas que integram a agricultura e pastagens na pecuária, podem ser vantajosos tanto para o produtor quanto para o meio ambiente. Sistemas de integração lavoura-pecuária possibilitam a recuperação da

produtividade das pastagens com a estabilidade econômica trazida pela cultura (CARVALHO et.al., 2010, SALTON et.al., 2014).

No momento da implementação da cultura, geralmente é empregado o sistema de plantio direto, uma tecnologia conservacionista, tida como ferramenta essencial para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários, por ter efeitos benéficos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Nesta técnica, o plantio é realizado sem as etapas de preparo convencional de aração e gradagem, o solo é mantido sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Essa cobertura tem por função proteger o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, incidência direta dos raios solares, escoamento superficial, erosão hídrica e eólica, contribuindo assim, para proteção e acúmulo de matéria orgânica (CRUZ, 2006).

Quando ainda são incluídas árvores nos sistemas integrados (integração lavoura-pecuária-floresta - ILPF), mais um produto é gerado, diversificando ainda mais a produção e contribuindo com o mercado de madeira e celulose (SILVA, 2012; PEZZOPANE et al., 2019a). A adição do componente florestal pode ser a longo prazo um investimento interessante ao produtor, sendo que, se as árvores forem bem manejadas desde o início, ano a ano com o incremento no diâmetro e comprimento, mais rentável (R\$/m³) a tora se torna (CEPEA, 2019).

Nestes sistemas, as pastagens são renovadas em ciclos de três ou quatro anos ao serem semeadas simultaneamente a cultura a ser implantada na área a ser renovada. O IBGE (2018) estima que sistemas agroflorestais, ou seja, aqueles cuja área é cultivada com espécies florestais também utilizada para lavouras e pastoreio dos animais ocupam cerca de 14 milhões de hectares. A adoção de sistemas integrados reduz a degradação das pastagens e agrega benefícios como maior fertilidade e agregação do solo devido ao acúmulo de matéria orgânica, melhor ciclagem de nutrientes e aumento da eficiência de fertilizantes (SALTON et al., 2014).

Da mesma forma, a fertilização das culturas melhora tanto a produtividade das pastagens quanto os índices de desempenho da pecuária (CARVALHO et al., 2010). A rotação de culturas com o gado auxilia a interromper ciclos de pragas, parasitas, doenças e ervas daninhas, reduzindo assim os custos de produção, aumentando os

resultados econômicos e ambientais (MARTHA JUNIOR et al., 2011). O acúmulo de matéria orgânica e a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo sugerem que os sistemas integrados reduzirão o impacto ambiental da produção agrícola, mitigarão as emissões de gases de efeito estufa, manterão ou aumentarão a produção agrícola (FRANCHINI et al., 2011). A utilização de tais sistemas, contribuem para o aumento da fertilidade e conservação do solo (POWER et al., 2003; SIERRA et al., 2002); aumento da produção e qualidade da forragem e consequentemente o desempenho dos animais (PACIULLO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2014; SANTOS et al., 2018); conservação da biodiversidade (PAGIOLA et al., 2004); sequestro de carbono (LAL, 2004). Ainda mais quando o componente arbóreo é incluído, ocorre o aumento de conforto térmico para os animais (TUCKER et al., 2008; PEZZOPANE et al. 2019b).

Diferentes autores investigaram o uso de diferentes sistemas de criação em pastagem com o objetivo de diminuir o impacto ambiental e emissão de GEE, como: intensificação (CARDOSO et al., 2016; OLIVEIRA SILVA et al., 2017; SAKAMOTO, 2018), integração lavoura-pecuária (CARVALHO et al., 2014; PONTES et al., 2018; PEZZOPANE et al., 2019a; LUZ et al., 2019), integração lavoura-pecuária-floresta (PEZZOPANE et al., 2019a; LUZ et al., 2019) e a integração entre pastagem e árvores no sistema Integração pecuária-floresta (PACIULLO et al., 2009; SOUSA et al., 2010; PACIULLO et al., 2011; SANTOS et al., 2018).

1.2.3. Sistemas de pastagens adubadas e/ou consorciadas no Reino Unido

De acordo com De Andrade et al. (2015), a produção de ruminantes em pastos consorciados de gramíneas e leguminosas pode ser mais sustentável do que pastos exclusivos de gramíneas, manejados intensivamente com o uso de fertilizantes nitrogenados. A inclusão de leguminosas nas pastagens, como o caso do trevo branco, pode aumentar a qualidade da pastagem devido ao alto teor de proteína e baixo conteúdo de fibra dessa leguminosa, a inclusão do trevo também é vantajosa devido sua capacidade de fixar N atmosférico em suas raízes, e posteriormente no

solo, podendo assim, naturalmente aumentar o suprimento de N para o pasto em crescimento (ENRIQUEZ-HIDALGO et al., 2014).

Bovinos em pastoreio tem 70% de preferência pelo trevo comparado com azevém, quando essas duas forragens estão disponíveis simultaneamente (RUTTER, 2006). Trevo branco ofertado como dieta única tem baixo tempo de retenção no rúmen em comparação com o azevém, isso está relacionado a concentrações de fibras que são tipicamente 25-35% da matéria seca (DM) em comparação com 40-50% para o azevém (LEE et al., 2004). A proporção de energia perdida na forma de metano é menor nos animais alimentados com leguminosas em comparação a gramíneas (WAGHORN et al., 2002). A presença de leguminosas pode também promover uma maior ingestão e conseqüentemente produção animal. O conteúdo do trevo varia muito ao longo da estação de pastejo (FRAME; NEWBOULD, 1986; GILLILAND et al., 2009) e, portanto, é possível que essa variação possa afetar as emissões de CH₄, a ingestão de matéria seca, e a produção animal a partir da pastagem.

Melhorar a qualidade da forragem, seja por meio da alimentação com variedades de forragens com menor teor de fibras e maior de carboidratos solúveis, passando de gramíneas C4 para C3 ou até mesmo o controle da altura de pastejo, de forma que os animais consumam sempre o material de maior qualidade com ausência de material senescente, pode reduzir a produção de CH₄ (BEAUCHEMIN et al., 2008; ECKARD et al., 2010). A produção de metano por unidade de celulose digerida pode ser até três vezes a da hemicelulose (MOE; TYRRELL, 1979). Em comparação com os carboidratos não estruturais, a celulose e a hemicelulose fermentam em taxas mais lentas, produzindo mais CH₄ por unidade de substrato digerido (MCALLISTER et al., 1996).

O incremento da qualidade da forragem, também tende a aumentar a ingestão voluntária e reduzir o tempo de retenção no rúmen, promovendo digestão pós-ruminal energeticamente mais eficiente e reduzindo a proporção de energia da dieta disponível para ser convertida em CH₄ (BLAXTER; CLAPPERTON, 1965; ECKARD et al., 2010). As emissões de metano também são comumente mais baixas com proporções mais altas de leguminosas forrageiras na dieta, em parte devido ao menor teor de fibras, à taxa de passagem mais rápida e, em alguns casos, à presença de taninos condensados (BEAUCHEMIN et al., 2008).

Melhorar a qualidade da dieta pode melhorar o desempenho dos animais e reduzir a produção de CH₄, mas também pode melhorar a eficiência, reduzindo as emissões de CH₄ por unidade de produto animal. Portanto, o melhoramento de plantas pode potencialmente melhorar a digestibilidade e reduzir a produção de CH₄. No entanto, muitas dessas estratégias também podem levar ao aumento da ingestão de MS por animal e também podem fornecer ao agricultor a oportunidade de aumentar a taxa de lotação, resultando em nenhuma mudança líquida ou mesmo um aumento líquido na produção de CH₄ (ECKARD et al., 2010). Também está claro que a maioria das opções atualmente disponíveis é mais adequada para a produção animal intensiva, com muito menos opções disponíveis para sistemas de pastoreio mais extensivos (ECKARD et al., 2010).

1.2.4. Fermentação ruminal

O sucesso dos ruminantes no processo evolutivo poder ser atribuído a simbiose do hospedeiro com os microrganismos presentes no rúmen. Enquanto o animal fornece alimento e um ambiente ideal para o crescimento dos microrganismos, os mesmos, fornecem ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e proteína microbiana. Habitam o interior do rúmen quatro tipos de microrganismos ativos, são eles, bactérias, arqueias, protozoários e fungos. As bactérias e arqueias normalmente constituem a maior parte da microbiota ruminal (60 a 90%) e são as mais ativas fermentadoras comparadas a protozoários e fungos (KOZLOSKI, 2017).

As arqueias metanogênicas, que são organismos procariontes, anteriormente classificados juntamente ao domínio filogenético das bactérias se diferenciam das demais pela estrutura da parede celular, que é ausente, e por serem microrganismos quimiotróficos⁷. São as mais estritamente anaeróbicas e produzem metano (CH₄) a partir do CO₂ e H₂. Esses microrganismos utilizam o gás H₂ como substrato para síntese de energia, na reação o CO₂ é reduzido a CH₄, e a variação da energia livre permite a síntese de uma molécula de ATP (KOZLOSKI, 2017).

⁷ Organismos que obtêm energia a partir de compostos químicos.

Nos bovinos, a maior parte da produção de CH_4 ocorre dentro do retículo-rúmen, sendo expirado pela boca e narinas durante a eructação, enquanto apenas 2-3% acabam tendo como destino a emissão retal. A metanogênese ruminal resulta em uma perda de 2 a 12% da energia bruta (EB) ingerida e, dessa forma, ao se reduzir a produção de CH_4 melhora-se o uso da energia proveniente da alimentação e a eficiência do sistema (JOHNSON; JOHNSON, 1995).

Os principais produtos da fermentação microbiana dos carboidratos são AGCC, H_2 , CO_2 e CH_4 . A eliminação destes últimos é fundamental para o bom funcionamento do metabolismo ruminal, já que o armazenamento de oxigênio dentro do rúmen ocorre na forma de CO_2 e a eliminação do hidrogênio (H_2) equivalente na forma de CH_4 . (VAN SOEST, 1994). O metano, formado diretamente a partir da redução do CO_2 , é o sumidouro de H_2 com maior importância para o ruminante e microbiota ruminal.

Nos processos de síntese dos ácidos acético e butírico, há a liberação de diferentes quantidades de H_2 no interior do rúmen, enquanto na síntese do ácido propiônico há o consumo de H_2 , diminuindo assim a quantidade total de H_2 disponível para as arqueias reduzirem CO_2 a CH_4 . Este mesmo AGCC pode ser formado por duas vias diferentes, succinato e acrilato, envolvendo diferentes bactérias, sendo que a via succinato é considerada de importância primordial no rúmen, já que sua via pode utilizar íons de H_2 para fornecer energia para síntese de ácido propiônico (RUSSELL; WALLACE, 1997).

A proporção em que cada AGV e lactato é produzida, depende da população de bactérias, que pode ser especializada em produzir determinado tipo de AGV e, principalmente, da concentração de NADH e H_2 na célula. As populações bacterianas predominantes e a disponibilidade de NADH e H_2 depende da dieta ingerida pelo animal. A retirada de H_2 do meio ruminal, depende da atividade das bactérias metanógenas, que o utilizam para reduzir CO_2 e CH_4 . Quanto mais H_2 é retirado do meio ruminal, maior a proporção de NADH é convertida a H_2 e maior é o rendimento de acetato e de ATP por mol de açúcar fermentado. Se o H_2 não fosse retirado do meio pelas metanógenas, haveria o acúmulo do mesmo no meio ruminal, impedindo a reoxidação do NADH, como também, a continuidade do catabolismo celular.

A importância relativa das vias de acrilato na formação do propionato pode aumentar em dietas de alto teor de concentrado. Valerato, um AGCC de menor síntese, também é resultante do metabolismo dos carboidratos e, da mesma forma, age como sumidouro líquido para redução de equivalentes de H₂ (RUSSELL; WALLACE, 1997), mas devido a sua pequena produção, essa via só resulta em um pequeno declínio na produção de H₂. Os outros dois AGCC produzidos em menor quantidade dentro do rúmen, ácidos isobutírico e isovalérico, originam-se a partir do metabolismo de aminoácidos de cadeia ramificada (valina e leucina, respectivamente), resultando na formação de CO₂ e amônia (NH₃) (VAN SOEST, 1994).

Tratando-se de estratégias de mitigação de CH₄ provenientes de fermentação entérica de ruminantes, podem-se listar três principais categorias (ECKARD; GRAINGER; DE KLEIN, 2010; COTTLE; NOLAN; WIEDEMANN, 2011):

1) Manejo eficiente

- Melhoramento genético
 - Seleção direta animais
 - Genômica
- Melhoria do sistema de produção
 - Sistemas intensificados /ou integrados
 - Manejo de dejetos
 - Otimização do uso de insumos

2) Manipulação do rúmen

- Menor relação acetato:propionato
 - Uso de concentrado
- Inibição das metnogênicas
 - Vacinação

3) Manipulação nutricional

- Forragem de alta qualidade
 - Melhoramento de plantas forrageiras
- Suplementos
 - Óleos essenciais, probióticos, ionóforos.
 - Compostos secundários vegetais (taninos; saponinas)

1.2.5. Fator de conversão do metano Ym (%)

O fator de conversão do CH₄ (Y_m) foi introduzido pelo IPCC, com o objetivo de indicar qual proporção da energia bruta ingerida pelo animal, é convertida em CH₄ entérico. Esse indicador é amplamente utilizado em inventários nacionais de emissões de GEE e pesquisas sobre estratégias de mitigação (NIU et al., 2018). Dietas típicas de ruminantes contêm cerca de 18,4 MJ de energia bruta (EB) por kg de matéria seca (MS), enquanto o CH₄ possui um conteúdo energético de 55,65 MJ/kg (LIU et al., 2017). Os valores padrão de Y_m fornecidos pelo IPCC (EGGLESTON et al., 2006) são, 3,0% ± 1,0% para bovinos em confinamento alimentados com dietas contendo 90% ou mais concentrado, e 6,5% ± 1,0% para vacas leiteiras e bovinos em pastejo, assim como, para animais que são alimentados principalmente com resíduos de culturas de baixa qualidade e subprodutos.

1.2.6. Metodologias para determinação da emissão de CH₄ entérico

Atualmente existem diferentes metodologias para mensurar e estimar as emissões de metano de ruminantes, aplicáveis a animais confinados ou em pastejo. Nenhum método, entretanto, é perfeito, e se faz necessário um conhecimento profundo das vantagens e desvantagens das técnicas experimentais, além de um cuidadoso planejamento com objetivo de selecionar qual metodologia melhor se adapta a cada necessidade. Neste contexto, é extremamente importante o planejamento de experimentos desde a concepção até a interpretação de resultados, pois com rigor e imparcialidade na avaliação, haverá confiabilidade nos resultados obtidos.

Métodos de pesquisa utilizados para estudar as emissões de CH₄ entérico e as práticas de mitigação possuem elementos em comum, porém diferem em termos de aparatos e abordagens utilizadas. A medida precisa das emissões provenientes dos ruminantes é necessária para publicação de inventários nacionais, criação e avaliação das estratégias de mitigação e desenvolvimento de protocolos para seleção genética. Existem diversas tecnologias utilizadas em todo o mundo para quantificar a emissão de metano entérico, estas, diferem em seu modo de aplicação, custo, acurácia e precisão, mas todos os métodos diretos se baseiam em mensurar a concentração de CH₄ no ar (HAMMOND et al., 2016).

Para uma avaliação e mensuração correta de gases emitidos pelos animais ruminantes é importante sempre considerar alguns aspectos relevantes:

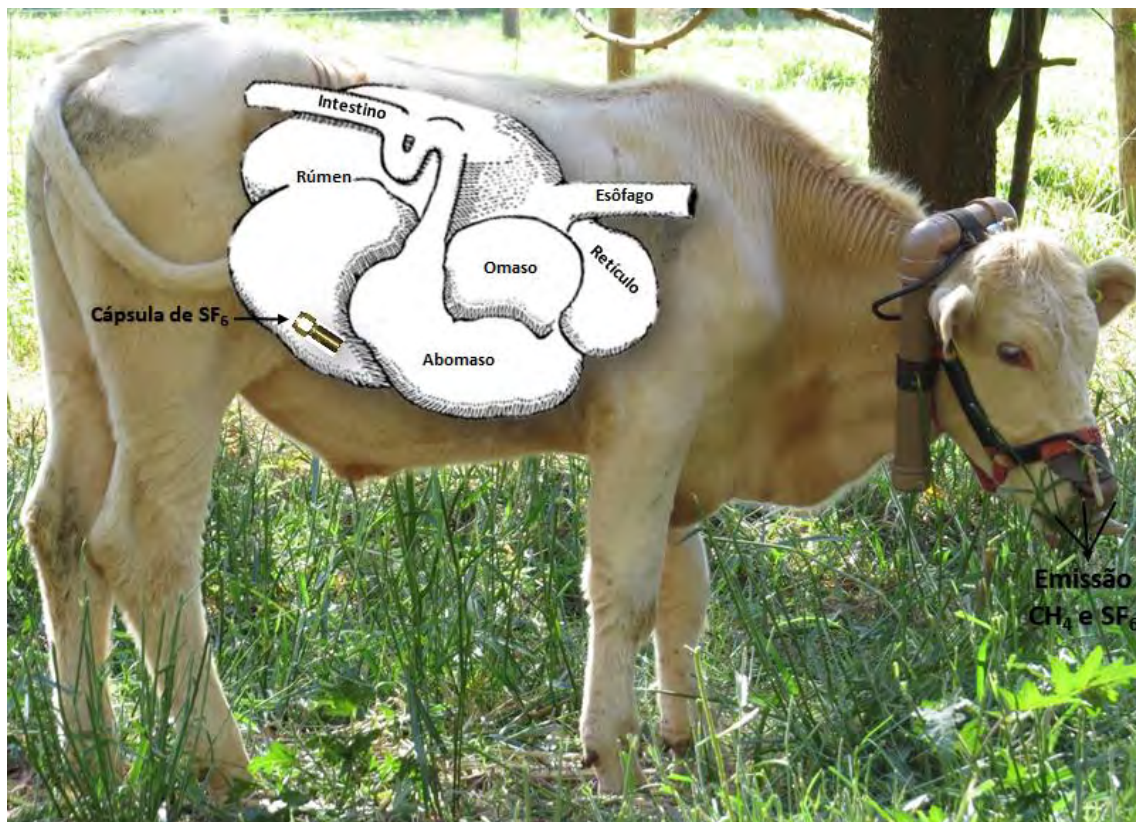
- Interferência da metodologia na rotina do animal;
- Interferência ou mudança no gás emitido a ser avaliado;
- Mudanças em seu ambiente natural ou produtivo;
- Facilidade para análise das amostras e dos dados.
- Viabilidade econômica e operacional.

Considerando todos esses pontos, ao longo de mais de 60 anos, desde o surgimento dos primeiros trabalhos com avaliação de emissão de metano entérico, as técnicas e metodologias foram se aprimorando e se adequando às condições produtivas. Métodos de pesquisa utilizados para estudar as emissões de CH₄ entérico e as práticas de mitigação possuem elementos em comum, porém diferem em termos de aparatos e abordagens utilizadas. Existem diversas tecnologias utilizadas em todo o mundo para quantificar a emissão de metano entérico, podendo ser realizadas por métodos *in vitro* ou *in vivo*. Estas diferem em seu modo de aplicação, custo, acurácia e precisão.

1.2.6.1. Técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆)

A técnica do gás traçador SF₆ foi desenvolvida e patenteada por Zimmerman (1993) e seu primeiro uso relatado para a estimativa da emissão de CH₄ de ruminantes foi feito por Johnson et al. (1995). No Brasil, a técnica foi adaptada por Primavesi et al. (2002) e aprimorada por Berndt et al. (2014). Esta técnica é adequada tanto para animais confinados, bem como livres em pastejo e baseia-se no uso de um tubo de permeação ou cápsula (Figura 11), que é inserido pela boca do animal e permanece no rúmen/retículo liberando, a uma taxa conhecida, uma pequena quantidade do gás traçador. O SF₆ liberado pela cápsula mistura-se aos gases da fermentação ruminal atuando como um traçador do gás metano produzido e eructado pelo animal.

Figura 11 - Representação da cápsula de SF₆ no rúmen do animal

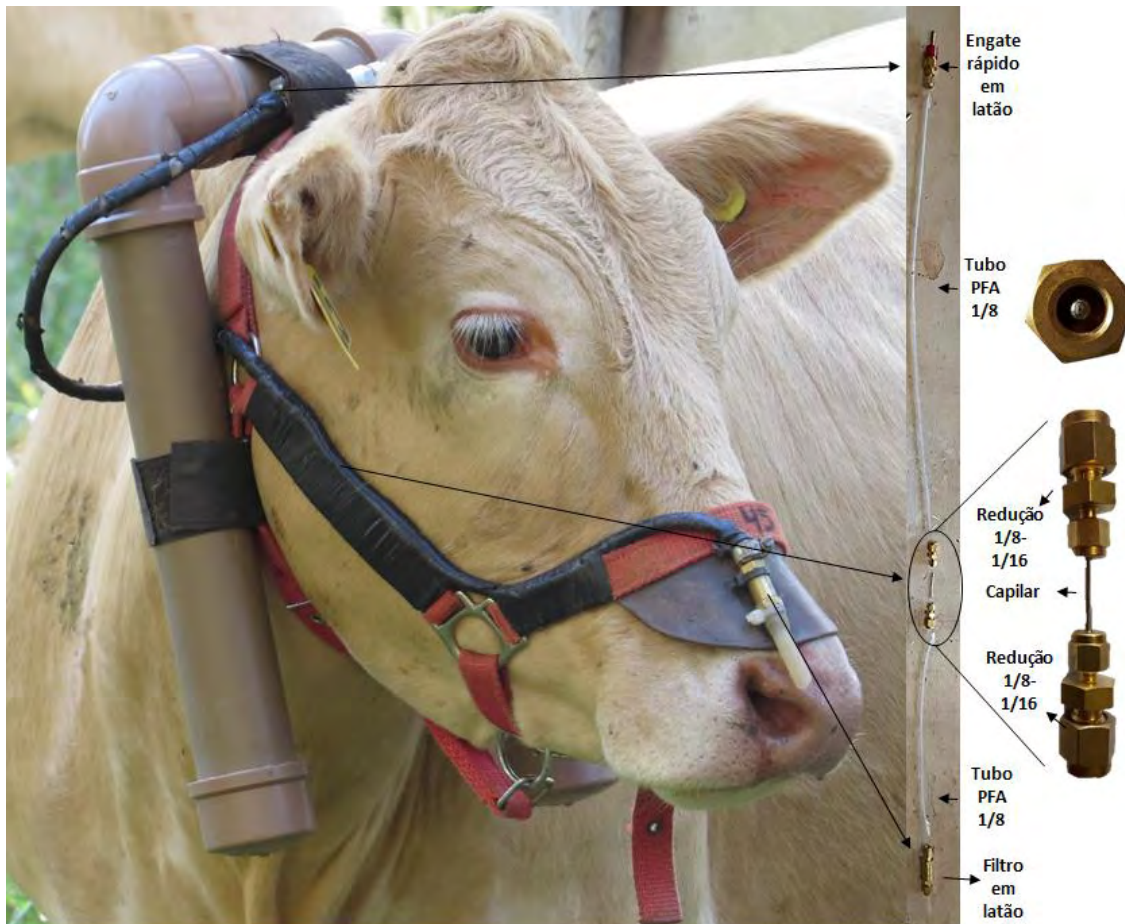


Fonte: BERNDT et al. (2014) e adaptado de DEPETERS; GEORGE (2014).

O ar expirado pela narina e boca do animal é continuamente coletado por meio de um tubo com cerca de 3 mm de diâmetro, equipado com limitador de fluxo para regular a taxa de amostragem. Este tubo é afixado a um cabresto e conectado a um recipiente de armazenamento pré-vacuolizado (canga) (Figura 12). O intervalo de amostragem recomendando é de 24 h, ao longo de um período mínimo de cinco dias

consecutivos, além de amostras de ar do ambiente (brancos), os animais presentes nos diferentes tratamentos devem ser amostrados ao mesmo tempo.

Figura 12 - Bovino equipado com o cabresto e canga de amostragem



Fonte: BERNDT et al. (2014); Própria autoria (2018).

De acordo com Hammond et al. (2016), a técnica do gás traçador SF₆, tem o objetivo de medir a emissão metabólica de gases de animais criados livres (ZIMMERMAN, 1993), já que os resultados obtidos em câmaras respirométricas eram questionáveis pela impossibilidade de aplicar a tecnologia em animais criados em pastejo (JOHNSON et al., 1995; STORM et al., 2012).

O método tem por base que a emissão de CH₄ entérico pode ser estimada se a taxa de emissão de um gás traçador dentro do rúmen for conhecida. Para isso se faz necessário um gás não-tóxico (LESTER; GREENBERG, 1950; STORM et al., 2012), estável e que se comporte dentro da dinâmica de gases no rúmen do mesmo modo que o metano. O SF₆ atende todos esses fundamentos, além de possuir um limite de

detecção extremamente baixo e poder ser aplicado em baixíssimas concentrações (JOHNSON et al., 1992; STORM et al., 2012).

As emissões de CH₄ são calculadas a partir da proporção de CH₄:SF₆ na canga, com cada um dos gases corrigidos para a concentração do branco, em conjunto com a taxa de permeação pré-determinada das cápsulas de SF₆. Na seguinte equação, onde está subscrito M indica amostra medida do animal, e o subscrito BG indica a concentração do branco:

$$RCH_4 = RSF_6 \times \frac{(CH_4)_M - (CH_4)_{BG}}{(SF_6)_M - (SF_6)_{BG}} \times \left(\frac{MWCH_4}{MWSF_6} \right) \times 1000$$

e, ainda, RCH₄ (g/d) é a taxa de emissão de CH₄ ruminal calculada em g/d; RSF₆ representa a taxa de liberação da cápsula de SF₆ (mg/d); MWCH₄ é a massa molecular do CH₄ (16), e MWSF₆ é a massa molecular do SF₆ (146). As concentrações de CH₄ são expressas em ppm e as de SF₆ em ppt. O fator 1000 realiza a conversão da unidade para que RCH₄ seja expressa na unidade de g/d.

A técnica do gás traçador SF₆ vem sendo utilizada e aprimorada há mais de duas décadas, período em que foram descritas dificuldades e formas de aumenta a acurácia dos resultados (STORM et al., 2012). Se realizada corretamente, a técnica do SF₆ estima uma emissão média de CH₄ que pode diferir cerca de 5 a 10% da obtida dos mesmos animais em câmaras respirométricas (HAMMOND et al., 2016). A taxa de emissão das cápsulas de SF₆ é importante e pode afetar a estimativa de emissão de CH₄ se não estiver corretamente determinada, para isso é necessário que a taxa de emissão seja determinada em condições de laboratório utilizando o método gravimétrico, ou seja, pesando as cápsulas semanalmente, por pelo menos seis semanas, e que sejam utilizadas aquelas com emissões altamente lineares (R² > 0,997) (PINARES-PATIÑO; CLARK, 2008).

Para reduzir possíveis erros experimentais inerentes à técnica, devem ser utilizadas cápsulas com taxas de emissão semelhantes dentro de um experimento (PINARES-PATIÑO et al., 2008). A distância entre o tubo de amostragem fixado ao cabresto e a boca e as narinas do animal, pode afetar a concentração dos gases, mas não a proporção de CH₄:SF₆ que será amostrada em relação a que foi expirada e

eructada pelo animal, por isso o posicionamento do dispositivo de coleta se torna fundamental (BERENDS et al., 2014).

Um dos principais requisitos de um gás traçador, é que suas concentrações no ambiente sejam extremamente baixas, em relação a concentração do traçador nas amostras coletadas, conhecer as concentrações de fundo no ambiente, são importantes para isso e para a precisão das estimativas de emissão de CH_4 (STORM et al., 2012; BERNDT et al., 2014). Altas concentrações de fundo do SF_6 criam incertezas, gerando perda de precisão e menor acurácia, contribuindo substancialmente para uma alta variação nas determinações de SF_6 (LASSEY, 2013). As estimativas de emissão pela técnica do SF_6 , tanto intra-animal como entre animais costumam apresentar um maior coeficiente de variação (CV) quando comparadas com as obtidas em câmaras respirométricas. Em decorrência deste maior CV, podem ser necessários mais dias de coleta e mais animais para detectar diferenças entre tratamentos (STORM et al., 2012).

Na Tabela 4, estão listados os trabalhos brasileiros publicados em periódicos científicos, que mensuraram em bovinos de corte, a emissão entérica de metano pela técnica do gás traçador SF_6 .

Tabela 4 - Trabalhos brasileiro publicados em periódicos científicos que mensuraram a emissão entérica de metano de bovinos de corte pela técnica do SF₆.

| Referências | Tratamento | N° ani. | Raça | Peso Vivo (kg) | Emissão de CH ₄ | | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------|---------|-----------------|----------------|----------------------------|---------------------|--------------------|
| | | | | | CH ₄ GD | CH ₄ CMS | CH ₄ PV |
| Oliveira et al. (2007) | Silagem sorgo baixo tanino + 1,2% ureia | 8 | Nelore | 215 | 49,52 | 14,14 | 0,230 |
| | 40% silagem sorgo baixo tanino + 60% concentrado | | | 215 | 66,60 | 11,48 | 0,310 |
| | tanino + 1,2% ureia | | | 215 | 49,30 | 13,32 | 0,229 |
| | 40% silagem sorgo alto tanino + 60% concentrado | | | 215 | 70,40 | 12,14 | 0,327 |
| Possenti et al. (2008) | Feno (80% coast-cross + 20% leucena) | 4 | Mestiço | 814 | 138,9 | 19,03 | 0,171 |
| | Feno (50% coast-cross + 50% leucena) | | | 814 | 130,5 | 17,88 | 0,160 |
| | Feno (80% coast-cross + 20% leucena) + 10g levedura | | | 814 | 156,2 | 21,11 | 0,192 |
| | coast-cross + 50% leucena) + 10g levedura | | | 814 | 127,3 | 16,75 | 0,156 |
| Balieiro Neto et al. (2009) | Feno brachiaria + mineral | 4 | Mestiça | 500 | 110,1 | 20,02 | 0,220 |
| | Feno brachiaria + mineral + monensina | | | 500 | 54,40 | 17,55 | 0,109 |
| | Feno brachiaria + proteinado | | | 500 | 86,90 | 14,25 | 0,174 |
| | Feno brachiaria + proteinado + monensina | | | 500 | 54,70 | 10,32 | 0,109 |
| Hulshof et al. (2012) | Cana-de-açúcar + ureia + 40% conc. | 16 | Nelore x Guzerá | 283 | 125,0 | 17,61 | 0,442 |
| | Cana-de-açúcar + nitrato + 40% conc. | | | 283 | 85,00 | 12,88 | 0,300 |
| Pedreira et al. (2013) | 100% volumoso | 9 | Cruzado | 444 | 125,2 | 22,76 | 0,282 |
| | 70% volumoso + 30% concentrado | | | 444 | 149,9 | 18,97 | 0,338 |
| | 40% volumoso + 60% concentrado | | | 444 | 140,4 | 16,14 | 0,316 |
| Canesin et al. (2014) | <i>Urochloa brizantha</i> + suplemento diário | 12 | Nelore | 383 | 226,0 | 28,42 | 0,590 |
| | <i>Urochloa brizantha</i> + suplemento dias úteis | | | 366 | 253,3 | 26,90 | 0,692 |
| | <i>Urochloa brizantha</i> + suplemento dias alternados | | | 379 | 252,5 | 33,37 | 0,666 |
| Cota et al. (2014) | Confinamento Pastagem | 47 | Nelore | 356 | 104,0 | 37,96 | 0,292 |
| | | | | 371 | 98,43 | 35,93 | 0,265 |
| Fiorentini et al. (2014) | 60% silagem milho + 40% conc. | 45 | Nelore | 419 | 147,0 | 16,90 | 0,351 |
| | 60% silagem milho + 4,5% óleo palma + 35,5% conc. | | | 419 | 66,80 | 15,53 | 0,159 |
| | 60% silagem milho + 4,5% óleo linhaça + 35,5% conc. | | | 419 | 62,80 | 8,971 | 0,150 |
| | 60% silagem milho + gordura protegida + 34,9% conc. | | | 419 | 118,0 | 15,13 | 0,282 |
| Mercadante et al. (2015) | Baixo consumo alimentar residual | 9 | Nelore | 339 | 144,0 | 24,40 | 0,425 |
| | Alto consumo alimentar residual | 14 | | 345 | 163,0 | 25,70 | 0,472 |

| | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|----|----------|-----|-------|-------|-------|
| Andrade et al. (2016) | Pasto degradado (capim elefante anão) + 150 kg N/ha | 12 | Charolês | 248 | 146,0 | 22,90 | 0,589 |
| | Pasto degradado (capim elefante anão) + amendoim | | | 252 | 180,0 | 25,30 | 0,714 |
| Carvalho et al. (2016) | Xaraés | 20 | Nelore | 440 | 113,7 | 9,887 | 0,258 |
| | Xaraés + óleo de palma | | | 440 | 112,6 | 9,707 | 0,256 |
| | Xaraés + óleo de linhaça | | | 440 | 70,18 | 6,380 | 0,160 |
| | Xaraés + gordura protegida | | | 440 | 101,9 | 8,492 | 0,232 |
| | Xaraés + grão de soja | | | 440 | 82,47 | 6,443 | 0,187 |
| Demarchi et al. (2016) | <i>Urochloa brizantha</i> no inverno | 16 | Nelore | 318 | 102,5 | 17,13 | 0,323 |
| | <i>Urochloa brizantha</i> na primavera | | | 333 | 132,0 | 16,89 | 0,397 |
| | <i>Urochloa brizantha</i> no verão | | | 411 | 220,9 | 30,20 | 0,538 |
| | <i>Urochloa brizantha</i> no outono | | | 448 | 159,9 | 21,65 | 0,357 |
| Lage et al. (2016) | 40% silagem milho | 36 | Nelore | 438 | 174,0 | 20,80 | 0,398 |
| | 60% silagem milho | | | 436 | 173,0 | 21,20 | 0,397 |
| | Milho sem glicerina | | | 435 | 161,0 | 19,30 | 0,370 |
| | Glicerina substituindo milho | | | 437 | 189,0 | 22,30 | 0,433 |
| | Glicerina substituindo casca de soja | | | 438 | 171,0 | 21,40 | 0,390 |
| Nascimento et al. (2016) | Feno brachiaria com 15 dias | 6 | Nelore | 402 | 132,6 | 17,38 | 0,330 |
| | Feno brachiaria com 45 dias | | | 402 | 138,3 | 23,41 | 0,344 |
| | Feno brachiaria com 90 dias | | | 402 | 133,9 | 20,02 | 0,333 |
| Frota et al. (2017) | Sistema a pleno sol – período seco | 12 | Cruzados | 199 | 120,6 | 24,29 | 0,616 |
| | Sistema silvopastoril – período seco | | | 186 | 124,4 | 18,66 | 0,678 |
| | Sistema a pleno sol – período chuvoso | | | 278 | 192,8 | 24,74 | 0,697 |
| | Sistema silvopastoril – período chuvoso | | | 254 | 203,3 | 26,50 | 0,803 |
| Rossi et al. (2017) | 40% silagem milho com soja moída | 36 | Nelore | 507 | 119,0 | 14,32 | 0,235 |
| | 40% silagem milho com soja grão | | | 512 | 164,0 | 17,17 | 0,320 |
| | 40% silagem milho com milho (alto amido) | | | 510 | 141,0 | 15,23 | 0,277 |
| | 40% silagem milho com casca soja (baixo amido) | | | 509 | 142,0 | 16,51 | 0,279 |
| Pontes et al. (2018) | Lavoura-pecuária + 90 kg N/ha | 24 | Purunã | 283 | 170,0 | . | 0,600 |
| | Lavoura-pecuária + 180 kg N/ha | | | 291 | 166,0 | . | 0,570 |
| | Lavoura-pecuária-floresta + 90 kg N/ha | | | 280 | 165,0 | . | 0,590 |
| | Lavoura-pecuária-floresta + 180 kg N/ha | | | 272 | 155,0 | . | 0,570 |
| Berça et al. (2019) | <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu | 28 | Cruzados | 316 | 115,0 | 16,42 | . |
| | <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu + 150 kg N/ha | | | 332 | 140,0 | 16,22 | . |
| | <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu + Amendoim forrageiro | | | 329 | 132,0 | 15,79 | . |

| | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------------------------------|----|---------|-----|-------|------|-------|
| Méo-Filho et al. (2020) | Linhagem Antiga da raça Canchim | 24 | Canchim | 327 | 194,0 | . | 0,557 |
| | Linhagem Nova da raça Canchim | | | 381 | 213,0 | . | 0,562 |
| Fagundes et al. (2020) | 70% silagem de milho + 30% concentrado | 6 | Nelore | 414 | 190,9 | 19,0 | 0,390 |
| | 70% silagem de milho + 28,75% concentrado + 1,25% CT | | | 414 | 158,5 | 18,0 | 0,330 |
| | 70% silagem de milho + 27,5% concentrado + 2,50% CT | | | 414 | 128,2 | 18,0 | 0,270 |

Adaptado de SAKAMOTO (2018).

1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agriculture and Horticulture Development Board – AHDB. The UK cattle yearbook 2019. AHDB, Warwickshire, UK, p. 6, 2019. Disponível em: https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/CattleYearbook2019_190718_WEB_FINAL.pdf. Acesso em: 10/02/2020.

ARVOR, D.; MEIRELLES, M.; DUBREUIL, V.; BÉGUÉ, A., SHIMABUKURO, Y.E. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. **Appl. Geogr.** 32 (2), p. 702–713, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. 2020. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>. Acesso em: fevereiro de 2020.

BEAUCHEMIN, K.A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T.A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 2, p. 21-27, 2008.

BERÇA, A.S.; CARDOSO, A.D.S.; LONGHINI, V.Z.; TEDESCHI, L.O.; BODDEY, R.M.; BERNDT, A.; ... RUGGIERI, A.C. Methane production and nitrogen balance of dairy heifers grazing palisade grass cv. Marandu alone or with forage peanut. **Journal of animal science**, v. 97, n. 11, p. 4625-4634, 2019.

BERENDS, H.; GERRITS, W. J.; FRANCE, J.; ELLIS, J. L.; VAN ZIJDERVELD, S. M.; DIJKSTRA, J. Evaluation of the SF₆ tracer technique for estimating methane emission rates with reference to dairy cows using a mechanistic model. **Journal of Theoretical Biology**, v. 353, p. 1–8, 2014.

BERNDT, A.; BOLAND, T. M.; DEIGHTON, M. H.; GERE, J. I.; GRAINGER, C.; HEGARTY, R. S.; IWAASA, A. D.; KOOLAARD, J. P.; LASSEY, K. R.; LUO, D.; MARTIN, R. J.; MARTIN, C.; MOATE, P. J.; MOLANO, G.; PINARES-PATIÑO, C.; RIBAUX, B. E.; SWAINSON, N. M.; WAGHORN, G. C.; WILLIAMS, S. R. O. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. Lambert, M. G. (Ed.). **New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre**, New Zealand, 2014.

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal of nutrition**, v. 19, n. 1, p. 511-522, 1965.

BULLER, L. S.; LIMA, I. B. T. de; ORTEGA, E.; MORAES, A.; SILVA, G. B. S. da; ZANETTI, M. R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 137, p. 206-219, 2015.

CANESIN, R.C.; BERCHIELLI, T.T.; MESSANA, J.D.; BALDI, F.; PIRES, A.V.; FRIGHETTO, R.T.S.; ... REIS, R.A. Effects of supplementation frequency on the ruminal fermentation and enteric methane production of beef cattle grazing in tropical pastures. **Revista Brasileira de zootecnia**, v. 43, n. 11, p. 590-600, 2014.

CARDOSO, A.S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B.J.R.; de CARVALHO I.N.O.; SOARES, L.H.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, 2016.

CARO, D.; KEBREAB, E.; MITLOEHNER, F.M. Mitigation of enteric methane emissions from global livestock systems through nutrition strategies. **Climatic change**, v. 137, n. 3-4, p. 467-480, 2016.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E.D.; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; TERRA LOPES, M.L.; SILVA, J.L.S.; CONTE, O., LIMA WESP, C.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 88, p. 259–273, 2010.

CARVALHO, J.L.N., RAUCCI, G.S., FRAZAO, L.A., CERRI, E.C., BERNOUX, M., CERRI, C.C., Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gases emissions in the Brazilian Cerrado. **Agric. Ecosyst. Environ.** 183 (1), 167–175, 2014.

CARVALHO, I.P.C.; FIORENTINI, G.; BERNDT, A.; CASTAGNINO, P.D.S.; MESSANA, J.D.; FRIGHETTO, R.T.S.; ... BERCHIELLI, T.T. Performance and methane emissions of Nellore steers grazing tropical pasture supplemented with lipid sources. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 12, p. 760-767, 2016.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Florestal 2020. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. 2020. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/florestal.aspx>. Acessado em: 15/01/2020.

CLIMATE WATCH Historical Emissions - Data Explorer. 2020. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions?historical-emissions-data-sources=71&historical-emissions-gases=All%20Selected&historical-emissions-regions=All%20Selected%2CWORLD&historical-emissions-sectors=All%20Selected&page=1> Acesso em:15/06/2020

COTA, O.L.; FIGUEIREDO, D.M.; BRANCO, R.H.; MAGNANI, E.; DO NASCIMENTO, C.F.; DE OLIVEIRA, L.F.; MERCADANTE, M.E.Z. Methane emission by Nellore cattle subjected to different nutritional plans. **Tropical animal health and production**, v. 46, n. 7, p. 1229-1234, 2014.

COTTLE, D.J.; NOLAN, J.V.; WIEDEMANN, S.G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science**, v. 51, n. 6, p. 491-514, 2011.

CRUZ, J.C.; ALVARENGA, R.C.; VIANA, J.H.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; SANTANA, D.P. Milho: plantio direto. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. 2006.

DE ANDRADE, E.A.; RIBEIRO-FILHO, H.M.; DE LIZ, D.M.; MIGUEL, M.F.; RAUPP, G.T.; RAMOS, F.R.; ALMEIDA, E.X. Herbage intake, methane emissions and animal performance of steers grazing dwarf elephant grass with or without access to *Arachis pintoi* pastures. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 2, n. 1, p. 4-5, 2014.

DE ANDRADE, C.M.S.; FERREIRA, A.S.; CASAGRANDE, D.R. Uso de leguminosas em pastagens: potencial para consórcio compatível com gramíneas tropicais e necessidades de manejo de pastejo. In: **Embrapa Acre-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 27., 2015, Piracicaba. Sistemas de produção, intensificação e sustentabilidade da produção animal: anais. Piracicaba: Fealq, 2015., 2015.

Department of Energy & Climate Change - DECC, U.K. **Final UK Greenhouse gas emissions national statistics: 1990–2014** (2014 UK ghg: final figures—data tables). 2016.

DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs. Agriculture in the United Kingdom. London/UK, 2016.

DEMARCHI, J.J.A.A.; MANELLA, M.Q.; PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.T.S.; ROMERO, L.A.; BERNDT, A.; DE LIMA, M.A. Effect of seasons on enteric methane emissions from cattle grazing *Urochloa brizantha*. **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.

DEMIREL, Y. **Nonequilibrium thermodynamics: transport and rate processes in physical, chemical and biological systems**. Elsevier, 2007.

DIAS-FILHO, M.B. Diagnóstico das pastagens no Brasil–Belém. **PA: Embrapa Amazônia Oriental**, 2014.

DIAS-FILHO, M.B. Degradação de pastagens : o que é e como evitar Brasília, DF : **Embrapa Amazônia Oriental**, 2017.

ECKARD, R. J.; GRAINGER, C.; DE KLEIN, C. A. M. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. **Livestock science**, v. 130, n. 1-3, p. 47-56, 2010.

EGGLESTON, S.; BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T., TANABE, K. (Eds.). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (Vol. 5). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies. 2006.

EISLER, M.C.; HEDGEHOG HOUSE, T.H.; PIC, M. Steps to sustainable livestock. **Nature**, v. 507, p. 6, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Integração lavoura pecuária floresta – ILPF. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>. Acesso em: 09 de setembro de 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Integração lavoura pecuária – ILP. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1055/sistema-integracao-lavoura-pecuaria>. Acesso em: 09 de setembro de 2018.

ENRIQUEZ-HIDALGO, D.D.; GILLILAND, T.; DEIGHTON, M.H.; O'DONOVAN, M.; HENNESSY, D. Milk production and enteric methane emissions by dairy cows grazing fertilized perennial ryegrass pasture with or without inclusion of white clover. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1400-1412, 2014.

FIORENTINI, G.; CARVALHO, I.P.C.; MESSANA, J.D.; CASTAGNINO, P.S.; BERNDT, A.; CANESIN, R.C.; ... BERCHIELLI, T.T. Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on the intake, performance, and methane emissions of feedlot Nelore steers. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 4, p. 1613-1620, 2014.

FAGUNDES, G.M.; BENETEL, G.; WELTER, K.C.; MELO, F.A.; MUIR, J.P.; CARRIERO, M.M.; ... BUENO, I.C. Tannin as a natural rumen modifier to control methanogenesis in beef cattle in tropical systems: Friend or foe to biogas energy production? **Research in Veterinary Science**, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. YEARBOOK, FAO Statistical. World food and agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome**, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. Tackling climate change through livestock. **A global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Roma/Italia: FAO, p. 115, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. **Livestock solutions for climate change**. Roma/Italia: FAO, p. 3, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. **Climate change and food security: risks and responses**. Roma/Italia: FAO, p. 118, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. FAOSTAT **Enteric Fermentation**, 2020 Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GE/visualize>. Acesso em: 09/07/2020.

FRAME, J.; NEWBOULD, P. Agronomy of white clover. In: **Advances in Agronomy**. Academic Press. p. 1-88, 1986.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.D.; DEBIASI, H.; TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Embrapa Soja**, Londrina. p. 52, 2011.

GERSSSEN-GONDELACH, S.J.; LAUWERIJSSSEN, R.B.; HAVLÍK, P.; HERRERO, M.; VALIN, H.; FAAIJ, A. P.; WICKE, B. Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 240, p. 135-147, 2017.

GILLILAND, T. J.; MCGILLOWAY, D.; CONAGHAN, P. Influence of testing procedure on evaluation of white clover (*Trifolium repens* L.). **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, p. 227-242, 2009.

GLOBAL CARBON PROJECT. Methane Budget. 2020. Disponível em: <https://www.globalcarbonproject.org/methanebudget/index.htm>. Acesso em: 06/07/2020.

GRAINGER, C.; BEAUCHEMIN, K. A. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? **Animal Feed Science and Technology**, v. 166, p. 308-320, 2011.

GURGEL, Â.C.; COSTA, C.F. **Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira: uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do Plano ABC de 2012 a 2023**. Observatório do Plano ABC, 2015. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/15313/Relat%205%20-%20Invertendo%20o%20sinal%20de%20carbono%20da%20agropecu%20brasileira.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 20/01/2020

HAMMOND, K. J.; CROMPTON, L. A.; BANNINK, A.; DIJKSTRA, J.; YÁÑEZ-RUIZ, D.R.; O'KIELY, P.; SCHWARM, A. Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**. 2016.

HULSHOF, R.B.A.; BERNDT, A.; GERRITS, W.J.J.; DIJKSTRA, J.; VAN ZIJDERVELD, S. M.; NEWBOLD, J.R.; PERDOK, H.B. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. **Journal of animal science**, v. 90, n. 7, p. 2317-2323, 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo agropecuário 2017 resultados preliminares**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuaria.html?edicao=9830&t=sobre>. Acesso em: 09 de setembro de 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo agropecuário 2017**, 2019. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html Acesso em: 10/01/2020

IPCC - Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

JOHNSON, K. A.; HUHLER, M.; PIERCE, C. S.; WESTBERG, H.; LAMB, B.; ZIMMERMAN, P. The use of SF₆ as an inert gas tracer for use in methane measurements. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 302, 1992.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**. v. 73, p. 2483–2492, 1995.

KOZLOSKI, G.V. **Bioquímica dos ruminantes**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFSM, 2017.

LAGE, J.F.; SAN VITO, E.; REIS, R.A.; DALLANTONIA, E.E.; SIMONETTI, L.R.; CARVALHO, I.P.C.; ... BERCHIELLI, T.T. Methane emissions and growth performance of young Nellore bulls fed crude glycerine-v. fibre-based energy ingredients in low or high concentrate diets. **Journal of Agricultural Science**, p. 1280-1290, 2016.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LAPIG – LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO. Atlas digital das pastagens brasileiras. **Universidade Federal de Goiás**, 2020. Disponível em: <https://pastagem.org/atlas/map> Acesso em: 11/01/2020.

LASSEY, K. R. On the importance of background sampling in applications of the SF₆ tracer technique to determine ruminant methane emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 180, p. 115–120, 2013.

LEE, J. M.; WOODWARD, S.L.; WAGHORN, G.C.; CLARK, D.A. Methane emissions by dairy cows fed increasing proportions of white clover (*Trifolium repens*) in pasture. In: **Proceedings of the New Zealand Grassland Association** v. 66, p. 151-155, 2004.

LESTER, D.; GREENBERG, L. A. The toxicity of sulfur hexafluoride. **Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine**, v. 2, p. 348–349. 1950.

LIU, Z.; LIU, Y.; SHI, X.; WANG, J.; MURPHY, J.P.; MAGHIRANG, R. Enteric methane conversion factor for dairy and beef cattle: Effects of feed digestibility and intake level. **Transactions of the ASABE**, v. 60, n. 2, p. 459-464, 2017.

LUZ, P.A.C., ANDRIGHETTO, C., LUPATINI, G.C., ARANHA, H.S., TRIVELIN, G.A., MATEUS, G.P., SANTOS, C.T., FRANCISCO, C.L., CASTILHOS, A.M., JORGE, A.M. Effect of integrated crop livestock systems in carcass and meat quality of Nellore cattle. **Livestock Science** v. 220, p. 83-92. 2019.

MARTHA JUNIOR, G.B., ALVES, E., CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 46, p. 1117–1126, 2011.

MARTHA JUNIOR, G B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, 2012.

MCALLISTER, T.A.; CHENG, K.J.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 76, n. 2, p. 231-243, 1996.

MÉO-FILHO, P.; BERNDT, A.; MARCONDES, C.R.; PEDROSO, A.F.; SAKAMOTO, L.S.; VILLAS-BOAS, D.F.; ... BUENO, I.C.S. Methane Emissions, Performance and Carcass Characteristics of Different Lines of Beef Steers Reared on Pasture and Finished in Feedlot. **Animals**, v. 10, n. 2, p. 303, 2020.

MERCADANTE, M.E.Z.; CALIMAN, A.P.M.; CANESIN, R.C.; BONILHA, S.F.M.; BERNDT, A.; FRIGHETTO, R.T.S.; MAGNANI, E.; BRANCO, R.H. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nellore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 44 (7), p. 255-262, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA. **Plano ABC – Agricultura de baixa emissão de carbono**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 10/09/2018.

MINISTÉRIO DA CASA CIVIL. PPCDAm. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal**. Fase I. Brasília, DF: Ministério da Casa Civil, 2004.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO-MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, v. 2 p. 161, 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO-MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, v. 4 p. 91, 2017.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO-MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, v. 5. p, 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Florestas do Brasil em resumo: dados de 2005-2010**. Serviço Florestal Brasileiro. p. 152, 2010. Disponível em:

https://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/livro_de_bolso___sfb_mma_2010_web_95.pdf Acesso em: 15/01/2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Compromissos do Governo. Educa Clima, 2020. Disponível em: <http://educaclima.mma.gov.br/compromissos-do-governo/#roll3>. Acessado em: 01/07/2020.

MITLOEHNER, F.M.; NANSON, J. Scientists understand cattle not climate villains, but media still missing message. 2020. Disponível em: <https://www.beefcentral.com/production/scientists-understand-cattle-are-not-climate-villains-media-still-missing-the-message/>. Acesso em: 15/07/2020.

MOE, P. W.; TYRRELL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 62, n. 10, p. 1583-1586, 1979.

MORAES, A.D.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.D.F.; POLI, C.H.E.C.; BRESSAN, M.; MARTINS, C.E.; VILELA, D. Avaliação de sistemas de produção de leite a pasto que poderão prevalecer nas principais regiões produtoras de leite do país. In Utilização de pastagens em sistemas integrados agricultura/pecuária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 15-16, 2000.

MUHAMMED, S.E.; COLEMAN, K.; WU, L.; BELL, V.A.; DAVIES, J.A.; QUINTON, J.N.; CARNELL, E.J.; TOMLINSON, S.J.; DORE, A.J.; DRAGOSITS, U.; NADEN, P.S.; GLENDINING, M.J.; TIPPINGS, E.; NADEN, P. S. Impact of two centuries of intensive agriculture on soil carbon, nitrogen and phosphorus cycling in the UK. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1486-1504, 2018.

NASCIMENTO, C.F.M.; BERNDT, A.; ROMERO, L.A.; MEYER, P.M.; FRIGHETTO, R.T.S.; DEMARCHI, J.J.A.A.; RODRIGUES, P.H.M. Methane emission of cattle fed *Urochloa brizantha* hay harvested at different stages. **J. Agric. Sci**, v. 8, n. 1, p. 163-174, 2016.

NATIONAL BEEF ASSOCIATION - NBA. Beef Statistics. 2020. Disponível em: <https://www.nationalbeefassociation.com/resources/beef-statistics/>.

NETO, G.; BERNDT, A.; NOGUEIRA, J.R.; DEMARCHI, J.J.A.A.; NOGUEIRA, J.C. Monensin and protein supplements on methane production. **South African Journal of Animal Science**, v. 39, n. 1, p. 280-283, 2009.

NETO, A.J.; MESSANA, J.D.; RIBEIRO, A.F.; VITO, E.S.; ROSSI, L.G.; BERCHIELLI, T.T. Effect of starch-based supplementation level combined with oil on intake, performance, and methane emissions of growing Nellore bulls on pasture. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 5, p. 2275-2284, 2015.

NIU, M.; KEBREAB, E.; HRISTOV, A.N.; OH, J.; ARNDT, C.; BANNINK, A.; BAYAT, A.R.; BRITO, A.F.; BOLAND, T.; CASPER, D.; CROMPTON, L.A.; DIJKSTRA, J.; EUGENE, M.A.; GARNSWORTHY, P.C.; HAQUE, M.N.; HELLWING, A.L.F.; HUHTANEN, P.; KREUZER, M. KUHLA, B.; LUND, P.; MADSEN, J.; MARTIN, C. MCCLELLAND, S.C.; MCGEE, M.; MOATE, P.J.; MUETZEL, S.; MUNÓZ, C.; O'KIELY, P.; PEIREN, N.; REYNOLDS, C.K. ; SCHWARM, A.; SHINGFIELD, K.J.; STORLIEN, T.; WEISBJERG, M.R.; YÁÑEZ-RUIZ, D.R.; YU, Z. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. **Global Change Biology**, v. 24, n. 8, p. 3368-3389, 2018.

OECD/FAO - Organisation for Economic Co-operation and Development / Food and Agriculture Organization of the United Nations. OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025, **OECD Publishing**, Paris, 2016.

OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; DOS SANTOS PEDREIRA, M.; PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. LIMA, M.A. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. **Animal feed science and Technology**, v. 135, n. 3-4, p. 236-248, 2007.

OLIVEIRA, C.C.D., VILLELA, S.D.J., ALMEIDA, R.G., ALVES, F.V., BEHLING-NETO, A., MARTINS, P.G.M.D.A. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Tropical Animal Health Production**. v. 46, p. 167-172, 2014.

OLIVEIRA, L.F.; RUGGIERI, A.C.; BRANCO, R.H.; COTA, O.L.; CANESIN, R.C.; COSTA, H.J.U.; MERCADANTE, M.E.Z. Feed efficiency and enteric methane production of Nellore cattle in the feedlot and on pasture. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 886-893, 2018.

OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L.G.; HALL, J.A.J.; FOLEGATTI MATSUURA, M.; ZANETT ALBERTINI, T.; FERNANDES, F.A.; MORAN, D. Increasing beef production

could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6(5), p. 493-497, 2016.

OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L.G.; HALL, J.J.; MORETTI, A.C.; VELOSO, R.F.; ALEXANDER, P.; CRESPOLINI, M; MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural systems**, v.153, p. 201-211. 2017.

OSS, D. B.; MARCONDES, M. I.; MACHADO, F. S.; PEREIRA, L. G. R.; TOMICH, T. R.; RIBEIRO JR, G. O.; CHIZZOTTI, M. L.; FERREIRA, A. L.; CAMPOS, M. M.; MAURÍCIO, R. M.; CHAVES, A. V.; McALLISTER, T. A. An evaluation of the face mask system based on short-term measurements compared with the sulfur hexafluoride (SF6) tracer, and respiration chamber techniques for measuring CH₄ emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v.216, p. 49–57, 2016.

PACIULLO, D.S.C., LOPES, F.C.F., MALAQUIAS JR., J.D., VIANA FILHO, A., RODRIGUEZ, N.M., MORENZ, M.J.F., AROEIRA, L.J.M. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, p. 1528–1535, 2009.

PACIULLO, D.S.C., CASTRO, C.R.T., GOMIDE, C.A.M., MAURÍCIO, R.M., PIRES, A.F.A., MÜLER, M.D., XAVIER, D.F., Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock. Science**. v. 141, p. 166–172, 2011.

PEDREIRA, M. S. Estimativa da produção de metano de origem ruminal por bovinos tendo como base a utilização de alimentos volumosos: Utilização da metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF6), MSc Diss. FCAV UNESP, 2004.

PEDREIRA, M.S.; OLIVEIRA, S.G.D.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M.A.D.; FRIGHETTO, R.T.S.; BERCHIELLI, T.T. Methane emissions and estimates of ruminal fermentation parameters in beef cattle fed different dietary concentrate levels. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 8, p. 592-598, 2013.

PEZZOPANE, J.R.M., BERNARDI, A.C.C., BOSI, C. OLIVEIRA, P.P.A., MARCONATO, M.H., PEDROSO, A.F., ESTEVES, S.N, Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforest Systems**. v. 93, 39-49, 2019.

PEZZOPANE, J.R.M., NICODEMO, M.L.F., BOSI, C., GARCIA, A.R., LULU, J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**. v. 79, p. 103–111, 2019.

PINARES-PATIÑO, C. S.; CLARK, H. Reliability of the sulfur hexafluoride tracer technique for methane emission measurement from individual animals: An overview. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.48, p. 223–229, 2008.

PINARES-PATIÑO, C. S.; MACHMULLER, A.; MOLANO, G.; SMITH, A.; VLAMING, J. B.; CLARK, H. The SF6 tracer technique for measurements of methane emission from cattle—Effect of tracer permeation rate. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 88, p. 309–320, 2008.

PONTES, L.S.; BARRO, R.S.; SAVIAN, J.V.; BERNDT, A.; MOLETTA, J.L.; PORIFÍCIO-DA -SILVA, V.; BAYER, C., CARVALHO, P.C.F. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization, **Agricultural Ecosystems and ENVIRONMENT**. V. 253, P. 90-97. 2018.

POSSENTI, R.A.; FRANZOLIN, R.; SCHAMMAS, E.A.; DEMARCHI, J.J.A.D.A.; FRIGHETTO, R.T.S.; LIMA, M.A.D. Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão de gás metano em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1509-1516, 2008.

POWER, I.L., THORROLD, B.S., BALKS, M.S. Soil properties and nitrogen availability in silvopastoral plantings in *Acacia melanoxylon* in North Island, New Zealand. **Agroforest Systems**. v. 57, p. 225–237. 2003.

PRIMAVESI, O; BERNDT, A.; LIMA, M.A.; FRIGHETTO, TOYOKO S.R.; DEMARCHI, J.J.A.A.; PEDREIRA, M.S. Produção de gases de efeito estufa em sistemas agropecuários: bases para inventário de emissão de metano por ruminantes. Cap.8.. In: **Proceedings...** 1, Lima, M.A.; Boddey, R.M.; Alves, B.J.R; Machado, P.L.O.A.V; Urquiaga, S. (Org.). Estoques de C e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária Brasileira. 1ed.Brasília, DF: Embrapa, p. 239-270, 2002.

ROSSI, L.G.; FIORENTINI, G.; VIEIRA, B.R.; NETO, A.J.; MESSANA, J.D.; MALHEIROS, E.B.; BERCHIELLI, T.T. Effect of ground soybean and starch on intake, digestibility, performance, and methane production of Nelore bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 39-47, 2017.

RUSSELL, J.B.; WALLACE, R.J. Energy-yielding and energy-consuming reactions. In: **Proceedings...** P.N. Hobson and C.S. Stewart, eds. The Rumen Microbial Ecosystem, London, U.K., Blackie Academic & Professional. p. 246–282, 1997.

RUSSELL, J.R.; BISINGER, J.; POWERS, W.J. Grazing system effects methane emissions from cows in southern Iowa pasture. **Animal Industry Report**, v. 662, p. 53, 2016.

RUTTER, S.M. Diet preference for grass and legumes in free ranging domestic sheep and cattle: Current theory and future application. **Applied Animal Behaviour Science**. 97:17–35. 2006.

SAKAMOTO, L.S. Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore terminados a pasto e cruzados em confinamento. 2018. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) - **Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo**, Pirassununga, 2018. doi:10.11606/T.74.2018.tde-23102018-124307. Acesso em: 05/02/2020

SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANTOS, D.C., JÚNIOR, R.G., VILELA, L., MACIEL, G.A., FRANÇA, A.F.S. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptusurograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agroforest Systems**. v. 266, p. 174-180, 2018.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO SFB, Florestas do Brasil em resumo 2019, 2019. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/publicacoes/1737-florestas-do-brasil-em-resumo-2019>. Acesso em: 01/07/2020.

SIERRA, J., DULORMNE, M., DESFONTAINES, L. Soil nitrogen as affected by *Gliricidia Sepium* in a silvopastoral system in Guadeloupe, French Antilles. **Agroforest Systems**. 54, 87–97, 2002.

SILVA V.P. Produtividade em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no subtropical brasileiro. PhD Thesis. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 110, 2012.

SOUSSANA, J.F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 03, p. 334-350, 2010.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; HAAN, C. Livestock's long shadow: Environmental issues and options (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy). 2006.

STORM, I. M. L. D.; HELLWING, A. L. F.; NIELSEN, N. I.; MADSEN, J. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. **Animals**, v. 2, p. 160–183, 2012.

TUCKER, C.B., ROGERS, A.R., SHÜTZ, K.E. Effect of solar radiation on dairy cattle behavior, use of shade and body temperature in a pasture-based system. **Applied Animal Behavior Science**. 109, 141–154, 2008.

UNITED NATIONS - U.N. World population prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs - Population Dynamics. 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 01/07/2020.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**, 2020. Disponível em: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/73666448x?locale=en#release-items> Acesso: 09/07/2020 de setembro de 2019.

VAN SOEST, Peter J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Cornell University Press, 1994.

WAGHORN, G.C.; TAVENDALE, M.H.; WOODFIELD, D.R. Methanogenesis from forages fed to sheep. In: **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**. v. 64 p. 167-171, 2002.

WATANABE, M.D.B., ORTEGA, E. Dynamic emergy accounting of water and carbon ecosystem services: a model to simulate the impacts of land-use change. **Ecological Modelling**. v. 271, p. 113–131, 2014. doi:10.1016/j.ecolmodel.2013.03.006.

WERTH, S. The Biogenic Carbon Cycle and Cattle, 2020. Clear Center – UC Davis. Disponível em: <https://clear.ucdavis.edu/explainers/biogenic-carbon-cycle-and-cattle>. Acesso em:15/07/2020.

WOODBIDGE, J.; FYFE, R.M.; ROBERTS, N.; DOWNEY, S.; EDINBOROUGH, K.; SHENNAN, S. The impact of the Neolithic agricultural transition in Britain: a comparison of pollenbased land-cover and archaeological 14C date-inferred population change. **Journal of Archaeological Science**. v. 51, p. 216–224, 2014.

ZIMMERMAN, P.R., **System for measuring metabolic gas emissions from animals**. United States Patent number US005265618A. 1993.

ZIMMERMAN, P.R.; ZIMMERMAN, R.S. **Method and system for monitoring and reducing ruminant methane production**. United States Patent numberUS20090288606 A1. 2012.

2. PRODUÇÃO ANIMAL E EMISSÃO DE METANO RUMINAL EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE NO SUDESTE DO BRASIL

2.1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da pecuária do Brasil movimentou R\$ 618,5 bilhões em 2019, com crescimento de 3,5% em relação ao ano anterior (ABIEC, 2020), sendo responsável por 8,7% do PIB total do país, configurando a bovinocultura como um dos principais destaques do agronegócio brasileiro nos cenários nacional e internacional. De acordo com USDA (2019), o Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo, com cerca de 244,2 milhões de cabeças, sendo que no ano anterior foi o segundo maior produtor em equivalente carcaça, atrás dos Estados Unidos (10,8 e 12,5 mil toneladas, respectivamente) e maior exportador, comercializando um total 2,6 mil toneladas no mercado mundial.

Calcula-se que no ano de 2010, a agricultura mundial tenha sido responsável pela emissão de 5,5 Gt CO₂-eq, sendo que, desta parcela, 2,1 Gt CO₂-eq/ano foram provenientes da fermentação ruminal de animais ruminantes (FAOSTAT, 2013). Dependendo da abordagem para o cálculo e do âmbito coberto das emissões, diferentes fontes (IPCC, FAO, EPA entre outros) alegam que a população mundial de bovinos é responsável por cerca de 7 a 18% das emissões antropogênicas de GEE (FAO, 2013). Por outro lado, a abordagem setorial indicada pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para os inventários de GEE, apesar de adequada, não faz um balanço das opções mitigatórias existentes dentro de cada atividade, nem leva em conta o ciclo biogênico do carbono⁸.

O ciclo do carbono biogênico se concentra na capacidade das plantas de absorver e sequestrar carbono da atmosfera na forma de CO₂, e depositar esse carbono em suas folhas, raízes e caules, enquanto o oxigênio é liberado de volta a atmosfera. Esse processo é conhecido como fotossíntese e é central no ciclo do carbono biogênico. Quando as plantas realizam a fotossíntese, o carbono é convertido

⁸ Capacidade das plantas de absorver e sequestrar o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e depositar o mesmo, nas folhas, raízes e caules das plantas.

principalmente em celulose, uma forma de carboidrato que é um dos principais componentes das células vegetais. A celulose é o composto orgânico em maior abundância no mundo, presente em todas as gramíneas, arbustos, plantações e árvores. O conteúdo de celulose é particularmente alto em forragens e leguminosas, que se desenvolvem em locais onde os grãos e outras culturas destinadas a alimentação humana não podem ser cultivados. Dois terços das terras agrícolas disponíveis, são inaptas a agricultura intensiva, porém, ricas em gramíneas com alto teor de celulose que podem ser digeridas pelos bovinos (WERTH, 2020).

Globalmente, as pastagens são a forma dominante de agricultura por área terrestre, usada principalmente para o fornecimento de alimentos a ruminantes (GERSSEN-GONDELACH et al., 2017). Os sistemas de produção de gado em pastagem, apresentam saldos significativamente menores entre emissões e remoções ao contabilizar o dióxido de carbono atmosférico (CO₂) absorvido pelas gramíneas, promovendo o estoque de carbono (C) no solo (SOUSSANA, 2010). Devido à capacidade das plantas em converter CO₂ em massa vegetal, por meio da fotossíntese; conversão da massa de forragem e raízes mortas em matéria orgânica; e na manutenção da estrutura do solo, os sistemas de pastagem possuem maior capacidade de sequestro de carbono do que o solo utilizado para a produção anual de culturas em linha (RUSSELL, 2016).

Essas características reforçam a necessidade de usar técnicas que maximizem a produção nas áreas de pastagem que existem hoje, fazendo com que as áreas florestais sejam conservadas. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), nos últimos anos, vem desenvolvendo esforços no desenvolvimento, teste e disseminação de técnicas como essas, que ajudam a intensificar a produção e, ao mesmo tempo, contribuem para uma maior sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Exemplos são sistemas de produção integrados, como integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta e integração pecuária-floresta (EMBRAPA, 2018), onde as técnicas de cultivo empregadas têm o potencial de recuperar áreas anteriormente improdutivas em regiões tropicais e subtropicais, combinando agricultura, pecuária e produção florestal na mesma área por um período definido. Essas técnicas podem recuperar áreas degradadas a um custo relativamente

baixo, produzindo três vezes o volume de grãos e duas vezes o volume de carne, sem a necessidade de abrir novas áreas, otimizando o uso da terra e, ao mesmo tempo, proporcionando benefícios sociais (COSTA et al., 2017).

Os sistemas integrados apresentam maiores rendimentos das culturas, e desempenho sustentável do sistema em relação às áreas não pastadas, devido ao sequestro de gases de efeito estufa, eficiência no uso de nutrientes e manutenção do solo (DE MORAES et al., 2014). Os sistemas de produção que incluem maiores proporções de integração são mais socioeficientes, em comparação com sistemas convencionais. O manejo, o consórcio e / ou a rotação são a base desses sistemas e auxiliam no ciclo biológico de nutrientes entre plantas e animais, melhorando a eficiência da produção e mantendo a fertilidade do solo a longo prazo. Os benefícios econômicos incluem custos mais baixos de implementação e manutenção, em comparação com sistemas convencionais, com maior lucratividade, segurança e qualidade do produto. (COSTA et al., 2017). Todas essas características contribuem para a redução da intensidade das emissões de GEE por quilograma de produto produzido.

Analogamente em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, o potencial de sequestro de C nos troncos das árvores também é significativo. Dados ainda preliminares de Souza et al. (2019) demonstram que a destinação de 15% da área total de pastagem para o sistema ILPF, numa densidade de 417 árvores/ha, seria suficiente para compensar todas as emissões de GEE oriundas dos animais em recria (CH_4) e da pastagem (N_2O), deixando ainda um saldo positivo de carbono em uma fazenda de 150ha. Compreender como a intensificação e integração dos sistemas de criação de pastagens pode contribuir para maior produção animal, mas, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de GEE da agricultura é essencial para o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a adoção desses sistemas e, conseqüentemente, contribuam para a preservação ambiental (SAVIAN et al., 2014). Isso cria uma demanda por experimentos que medem índices de produtividade e emissões de GEE desses sistemas e especificamente metano da fermentação ruminal de animais (PONTES et al., 2018).

Com base nesses argumentos, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho, a produtividade animal por área, e relacioná-los a emissão de metano entérico de novilhos de corte em diferentes sistemas de produção em pastagem.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

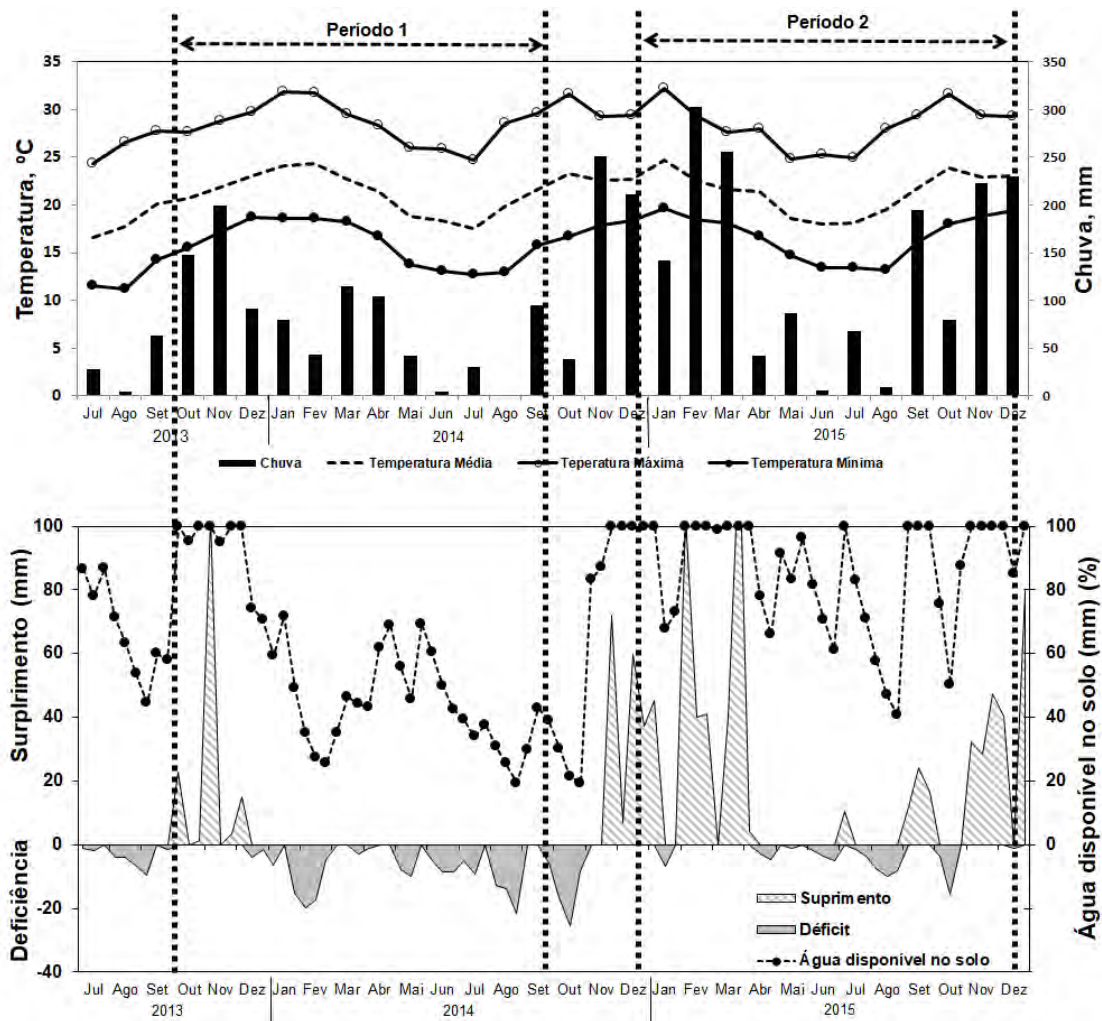
2.2.1. Local e período

O presente experimento foi parte das atividades realizadas durante a execução do Projeto PECUS (nº: 01.10.06.001.05.01) conduzido pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), que teve como objetivo avaliar a emissão de gases de efeito estufa e o balanço de carbono em sistemas agropecuários de produção, nos seis biomas brasileiros. As atividades aqui descritas foram conduzidas na Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos, Estado de São Paulo, a 21° 57' 33.32" S 47° 50' 33.28" W, à altitude de 856 m. O clima é do tipo Cw, na classificação de Köppen, ou seja, subtropical com inverno seco e verão quente e úmido. O período experimental foi de dezembro de 2013 a dezembro de 2015. O projeto foi avaliado pelo Comitê Local de Ética em Experimentação Animal - CEUA (Embrapa – Pecuária Sudeste) e recebeu parecer favorável registrado com protocolo número: 06/2016.

2.2.2. Clima e balanço hídrico

Na Figura 13, são apresentadas as temperaturas mínima, média, máxima, a pluviosidade e o balanço hídrico, durante os dois períodos de execução do experimento.

Figura 13 - Temperaturas mínima, média, máxima, pluviosidade e o balanço hídrico durante os dois anos de execução do experimento



Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Pecuária Sudeste.

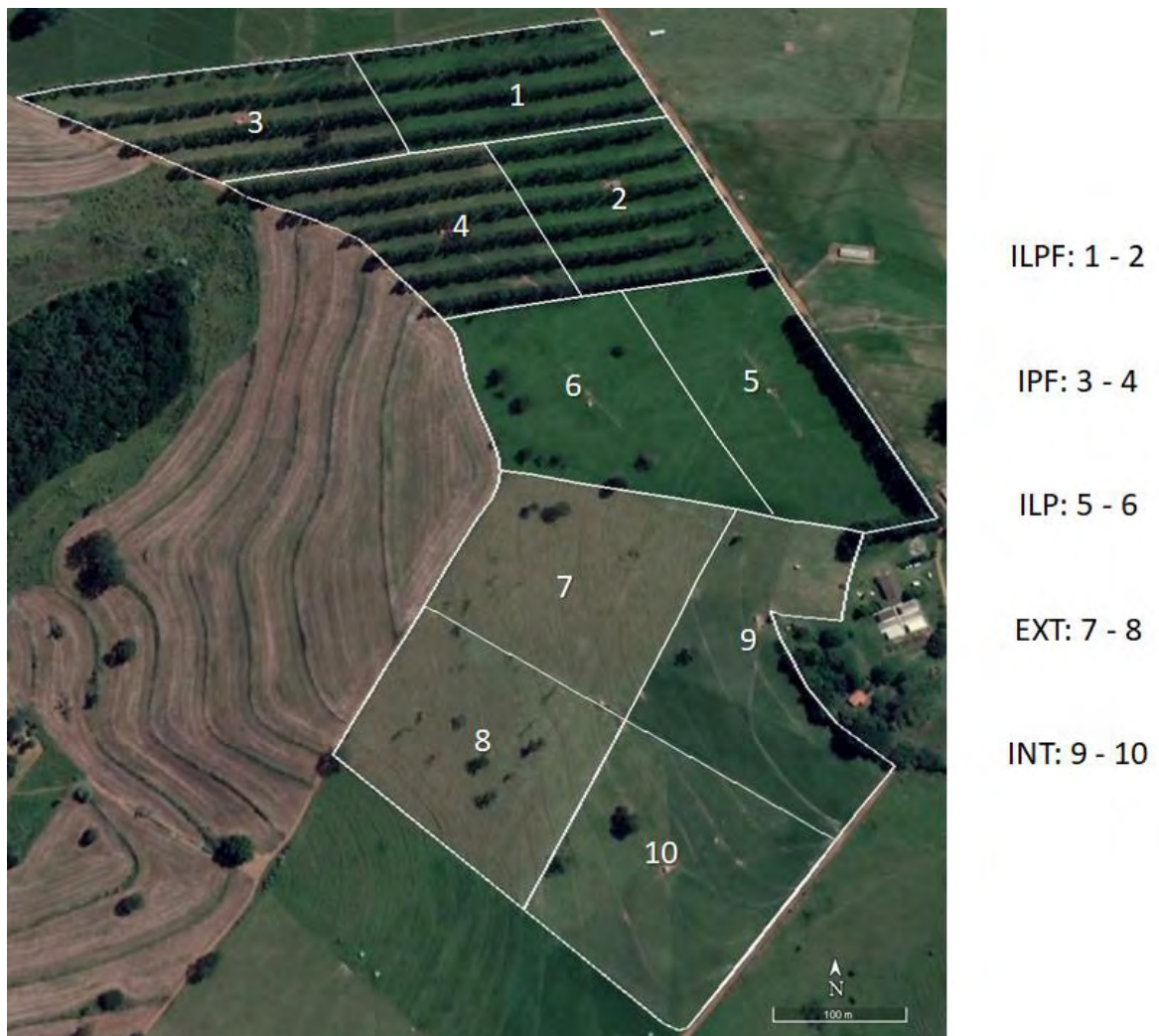
2.2.3. Animais e tratamentos

As atividades experimentais tiveram duração de dois anos (2013-2014; 2014-2015), onde foram avaliados 60 novilhos castrados da raça Canchim, com 15 meses de idade e 255 ± 7 kg de peso corporal inicial, oriundos do rebanho experimental da

Embrapa Pecuária Sudeste e nascidos entre agosto e novembro de 2012. A cada ano de execução do experimento, 30 animais foram distribuídos em blocos com base no peso inicial, e alocados em 5 diferentes sistemas de produção em pastagem (Figura 14), com duas repetições de área, que corresponderam aos tratamentos:

- Integração Lavoura–Pecuária-Floresta (ILPF).
- Integração Pecuária-Floresta (IPF).
- Integração Lavoura-Pecuária (ILP).
- Sistema Extensivo (EXT).
- Sistema Intensivo (INT).

Figura 14 - Representação das áreas dos diferentes sistemas de pastagens



Fonte: GOOGLE EARTH PRO (2020)

Na Tabela 5, os diferentes sistemas de criação em pastagem são caracterizados.

Tabela 5 - Caracterização dos sistemas de criação a pasto que representam os tratamentos

| Sistema | | |
|--------------------|-------------------------------------------------|-------------------|
| <u>ILPF</u> | Área de pastagem (ha): | 2,7 |
| | Área de pastagem durante cultivo do milho (ha): | 1,8 |
| | Método de pastejo: | Rotativo |
| | Lotação: | Variável |
| | Correção e adubação do solo: | Sim |
| | Culturas integradas: | Eucalipto + Milho |
| <u>ILP</u> | Área de pastagem (ha): | 3,2 |
| | Área de pastagem durante cultivo do milho (ha): | 2,1 |
| | Método de pastejo: | Rotativo |
| | Lotação: | Variável |
| | Correção e adubação do solo: | Sim |
| | Culturas integradas: | Milho |
| <u>IPF</u> | Área de pastagem (ha): | 2,7 |
| | Método de pastejo: | Rotativo |
| | Lotação: | Variável |
| | Correção e adubação do solo: | Sim |
| | Culturas integradas: | Eucalipto |
| <u>EXT</u> | Área de pastagem (ha): | 2,9 |
| | Método de pastejo: | Contínuo |
| | Lotação: | |
| | Correção e adubação do solo: | Não |
| | Culturas integradas: | - |
| <u>INT</u> | Área de pastagem (ha): | 2,9 |
| | Método de pastejo: | Rotativo |
| | Lotação: | Variável |
| | Correção e adubação do solo: | Sim |
| | Culturas integradas: | - |

*ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; ILP Integração lavoura-pecuária; IPF: Integração pecuária-floresta; EXT: extensivo; INT: Intensivo.

Todos os sistemas eram providos de bebedouro e cocho para suplementação mineral onde os animais receberam dois tipos de suplemento a vontade, dependendo da época do ano. O suplemento da Primavera/Verão foi misturado com cloreto de sódio (NaCl) na proporção de 25 kg do produto com 50 kg de sal comum, os níveis de garantia são apresentados na Tabela 6. Com exceção ao sistema EXT as outras áreas eram subdivididas em 6 piquetes cada.

Tabela 6 - Níveis de garantia por kg de suplemento mineral

| Primavera/Verão | | Outono/Inverno | |
|-----------------|----------|----------------|----------|
| Mineral | Teor (%) | Mineral | Teor (%) |
| Fósforo | 13,0 | Fósforo | 1,2 |
| Cálcio | 21,4 | Cálcio | 8,0 |
| Magnésio | 2,3 | Magnésio | 0,2 |
| Enxofre | 4,0 | Enxofre | 1,5 |
| Zinco | 1,0 | Zinco | 0,064 |
| Cobre | 0,35 | Cobre | 0,017 |
| Manganês | 0,17 | Manganês | 0,013 |
| Cobalto | 0,03 | Cobalto | 0,001 |
| Iodo | 0,03 | Iodo | 0,012 |
| Flúor | 0,003 | Flúor | 0,02 |
| Selênio | 0,13 | Selênio | 0,0003 |
| - | - | Proteína Bruta | 40,0 |

Nos sistemas ILPF, ILP, IPF e INT foi realizado em 2010 o processo de correção do solo, por meio de aplicação superficial de calcário e correção geral de fertilidade, com base na análise de solo, para estabelecimento da pastagem de *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) *brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf cv. BRS Piatã. O calcário foi aplicado para aumentar a saturação por bases para 60%, fertilizante P (18% P₂O₅) aumentar o teor de P do solo para 12 mg/dm³ e fertilizante K (KCl, 60% K₂O) para aumentar o K trocável para 3% da capacidade de troca catiônica do solo. A adubação nitrogenada das pastagens foi durante a estação chuvosa: a) Período 1 - 2013/2014: 157 kg de N, divididos em quatro aplicações (duas como ureia - 45% N e duas como sulfato de amônia - 20% N); e b) Período 2 2014/2015: 202 kg N aplicados como ureia, divididos em cinco aplicações. Nesses sistemas, foi adotado o sistema de lotação rotacionado. O sistema EXT foi estabelecido a mais de 20 anos com *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) *decumbens* e não recebeu nenhum tipo de intervenção até o presente, sendo

considerado em degradação, e seguiu o sistema de lotação variável e manejo contínuo (não rotacionado).

A implantação das mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis* clone GG100), nos sistemas ILPF e Integração pecuária-floresta, ocorreu em abril de 2011, dispostas em fileira simples com espaçamento de 2x15 m (333 árvores/ha) e na orientação Leste-Oeste. Nos dois períodos, as árvores apresentaram em média, 17,5 m de altura e 16,9 cm de diâmetro, onde a área útil do sombreamento foi de 50%. A interceptação da radiação solar pelas copas das árvores, entre as linhas, variou de 45% no primeiro ano e 55% no segundo ano. Nos sistemas integrados ILP e ILPF, um terço das áreas de pastagem era renovado a cada ano agrícola (dois piquetes por área replicada), sendo realizado o plantio da forragem juntamente com o milho (var. DKR 390 PRO 2), cultivado para silagem. A recomendação de correção do solo e fertilização para a cultura do milho, foi baseada em análise de solo e calculada seguindo o método de Raij et al. (1997). No primeiro ano agrícola, o milho foi semeado em 07/11/2013 e colhido em 07/03/2014. No segundo ano agrícola, a semeadura foi realizada em 17/11/2014 e a colheita em 07/03/2015.

Animais reguladores foram utilizados em todos os sistemas para adequar a taxa de lotação de acordo com a oferta de forragem, pelo método “put-and-take” (MOTT; LUCAS, 1952) e avaliações visuais da massa de forragem disponível. Nos sistemas em que foi adotado o manejo rotacionado o período de ocupação foi de 5 dias e 25 dias de descanso totalizando 30 dias por ciclo de pastejo. Nos sistemas ILPF e ILP quando houve a integração com a cultura do milho um terço das áreas (2 piquetes por repetição de área) foi utilizado para o cultivo, nesta época, os 4 piquetes restantes foram ocupados por 9 dias enquanto ficavam desocupados por 27 dias, seguindo o mesmo manejo dos períodos sem integração.

O número de animais por área de pastagem e o peso individual foram monitorados com a finalidade de calcular a taxa de lotação expressa em (UA/ha). Que foi calculada adicionando-se o peso corporal médio (PC) dos animais traçadores, com o peso vivo médio de cada animal externo ao experimento que participaram do ajuste da lotação animal, multiplicando pelo número de dias em que permaneceram em cada pasto, e dividindo pelo número total de dias de pastejo em cada período de pastejo.

Em cada sistema experimental de pastagem, os animais traçadores utilizados foram mantidos durante todo o período para avaliações de desempenho, consumo e emissão de CH₄. No início e ao final do período experimental, a pesagem foi realizada após jejum prévio de sólidos e líquidos (16 horas). As pesagens intermediárias dos animais ocorreram a cada 30 dias sem jejum e respeitando o mesmo horário. O ganho por hectare (GPV kg/ha) foi obtido pela multiplicação do número de animais/ha pelo GMD dos animais traçadores e pelo número total de dias de pastejo. O ganho médio diário (GMD) foi calculado como a diferença entre os pesos final e inicial dos animais testados dividido pelo número de dias em cada estação.

2.2.4. Determinação da massa e qualidade da forragem

A determinação da massa e qualidade da forragem foram realizadas como descrito por Pezzopane et al., (2019a). A cada ciclo de pastejo, o acúmulo de forragem nos sistemas de pastagem sob lotação rotativa (INT, ILP, ILPF e IPF) foi calculado pela subtração da massa de forragem no pós-pastejo (início do período de descanso), da massa de forragem no pré-pastejo (final do período de descanso). Os valores de massa da forragem foram obtidos cortando-a dentro de uma moldura quadrada metálica de 0,5 × 0,5 m, a 15 cm acima do solo. A estrutura foi posicionada aleatoriamente em quatro locais dentro de um piquete pré-determinado em cada área replicada. Em seguida, as amostras de forragem foram pesadas e as coletadas nas quatro posições da mesma área replicada foram misturadas.

De cada amostra mista, foi retirada uma sub-amostra para determinação do teor de matéria seca (MS) e outra para composição morfológica (folha, caule e material morto). Dados do teor de MS e composição morfológica foram utilizados para calcular a massa de forragem (kg MS/ha). Nos sistemas ILPF e IPF, foram realizadas avaliações em quatro posições em relação às linhas de eucalipto: 1,5 m (P1); 3,75 m (P2); 7,5 m (P3) e 11,25 m (P4), a partir das linhas do Norte. Nesse caso, as avaliações foram realizadas em um local por posição, distribuídas em um piquete pré-determinado por área replicada e a média de quatro amostras foi considerada representativa da média do piquete.

No sistema sob manejo contínuo (EXT), a massa de forragem foi avaliada a cada 12 dias (três amostragens por 36 dias) em quatro gaiolas de exclusão (0,5 × 0,5 m) distribuídas aleatoriamente. Nesse caso, o acúmulo de forragem foi calculado

subtraindo a massa de forragem quando a gaiola de exclusão foi instalada, da massa de forragem no final do período de exclusão (12 dias) e somando a acúmulo dos três períodos. A altura da planta foi medida em três pontos aleatórios dentro da moldura metálica ou na gaiola com uma régua milimetrada (1m), a partir do nível do solo até o topo da folha expandida mais recentemente. Todos os componentes morfológicos foram pesados separadamente e o teor de MS determinado por secagem em estufa (65 ° C) por 72 h.

As amostras utilizadas para determinar o teor de MS também foram utilizadas para determinação da proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não-fibrosos (CNF) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) (Tabela 3). Após secas, as amostras foram moídas em um moinho Wiley com uma tela de 0,5 mm, e analisadas pela técnica FT (Fourier Transform) - NIR usando um espectrômetro modelo NIRFlex N500 FT-NIR (Buchi, SWZ), com interferômetro de polarização. Essas medidas foram realizadas utilizando um modelo de calibração, desenvolvido e validado pela Embrapa Pecuária Sudeste, especificamente para espécies e cultivares de *Urochloa spp.* Para os cálculos de produção de nutrientes, o nutriente em porcentagem (%) foi multiplicado pela massa de forragem (kg MS/ha) e dividido por 100.

2.2.5. Avaliação do consumo em pastagem

As determinações do consumo dos novilhos foram realizadas ao final de cada estação nos dois anos do experimento, utilizando-se a técnica do marcador externo dióxido de titânio (TiO₂), seguindo a metodologia proposta por Oliveira et al., (2014). Durante 12 dias consecutivos, todos os animais do experimento receberam oralmente 20 g de dióxido de titânio, divididos em dois fornecimentos diários, ministrados enrolados em papel kraft em formato cilíndrico. Nos últimos 5 dias de dosagem do marcador, foram coletadas amostras individuais de fezes diretamente do reto dos animais duas vezes ao dia, no mesmo momento em que era administrado o TiO₂.

O intervalo respeitado entre as duas aplicações e coletas foi de 8 horas, período dentro do intervalo proposto (8-16h) por Carvalho et al. (2007). Imediatamente após terminada a coleta, as amostras de fezes eram congeladas a -20°C, sendo que ao

final do período de 5 dias de coleta foram descongeladas e reunidas, compondo uma única amostra por animal, em seguida passaram por secagem em estufa a 65°C por 96 h sendo posteriormente moídas em peneira com perfurações de 2 mm. As análises da concentração fecal do marcador foram realizadas de acordo a metodologia descrita por Myers et al. (2004).

A indigestibilidade dos alimentos foi determinada utilizando o marcador interno FDNi. As amostras de fezes coletadas na mesma época da dosagem do marcador foram secas e após moídas em peneira com perfurações de 2 mm, as amostras foram acondicionadas em bolsas de TNT 100 g/m² (VALENTE et al., 2011) e incubadas por 240 horas no rúmen de novilhos providos de cânula ruminal. Ao final da incubação foi realizada lavagem em água corrente até total clareamento e secagem em estufa a 105°C por 12 h. A concentração de fibra insolúvel foi determinada em detergente neutro, segundo a metodologia de Van Soest et al. (1991), sendo o resíduo remanescente nas bolsas, considerado o teor de FDNi.

A produção fecal total (PFT) diária foi calculada seguindo a seguinte equação:

$$\text{PFT (kg/dia)} = \frac{\text{Quantidade de indicador administrado (g)}}{\text{Concentração do indicador nas fezes (g/kg)}}$$

As amostras para a determinação da concentração de FDNi da forragem, foram coletadas seguindo a metodologia proposta por Cook (1964), e a determinação, seguindo a mesma metodologia das amostras de fezes. Sendo os resultados utilizados para o cálculo da indigestibilidade da forragem, ao se dividir a concentração de FDNi na forragem pela concentração de FDNi nas fezes. Por fim, o consumo de forragem foi calculado a partir da equação:

$$\text{CMS forragem (kg/dia)} = \frac{\text{PFT}}{\text{Indigestibilidade da forragem}}$$

2.2.6. Avaliação da emissão de metano entérico

A emissão de metano entérico foi mensurada por meio da técnica do gás traçador SF₆ (JOHNSON et al. 1994, adaptada por PRIMAVESI et al., 2002 e aprimorada por BERNDT et al., 2014), sendo que cada um dos 30 animais foi avaliado diariamente durante 24h, por 5 dias consecutivos, nos meses centrais das 4 estações de cada ano. A taxa de liberação (TL) do gás a partir dos tubos de permeação de SF₆ foi determinada semanalmente por método gravimétrico, mantendo os tubos em estufa a 39°C, até serem administrados nos novilhos. Os tubos preenchidos com SF₆ e TL conhecidas (1431 ± 59 ng/min) foram administrados oralmente a cada um dos 30 animais, uma única vez, 7 dias antes do primeiro período de amostragem, de forma a permitir que o fluxo do gás traçador se estabilizasse no rúmen, 7 dias antes de cada coleta de CH₄ os animais eram equipados com cabrestos e cangas de adaptação (sem o sistema de coleta de gases), com o objetivo de aclimatar os animais aos equipamentos e facilitar o manejo.

Ao início da semana de amostragem, os animais eram equipados com cabrestos (com sistema de coleta de gases acoplado), confeccionados para permitir em 24h, 50% de enchimento das cangas de PVC, vacuolizadas para que houvesse pressão negativa e sucção pelo sistema, dos gases eructados e expirados. Diariamente as coletas tiveram início às 7:30, os animais eram recolhidos de suas áreas de pastagem ao centro de manejo de forma a facilitar a troca dos equipamentos. As pressões das cangas foram mensuradas imediatamente após completadas as 24h de amostragem para avaliação da qualidade da coleta. Se a pressão final fosse menor do que a esperada, poderia significar que o cabresto fora bloqueado ou desconectado. Por outro lado, caso a pressão final fosse acima do esperado, era considerado que o sistema estava com algum ponto de vazamento. Sendo assim, em qualquer situação foi realizada a troca do cabresto e da canga. Após a troca dos recipientes de coleta, os animais eram reconduzidos aos seus piquetes de origem.

Também foi realizada a coleta de amostras para determinação da concentração de SF₆ e CH₄ no ambiente (brancos). As pressões, datas e horários da retirada dos recipientes em ambos os casos eram anotados para controle. No momento da análise por cromatografia gasosa, as cangas foram pressurizadas com N₂ até aproximadamente 10% acima da pressão atmosférica, sendo a análise realizada em

cromatógrafo Shimadzu modelo GC-2014 (Shimadzu Corporation, Japan), seguindo o método descrito por Johnson et. al. (1995). As curvas de calibração foram estabelecidas utilizando gás padrão certificado pela empresa “White Martins” com as concentrações de CH₄, em ppm (5 ± 5, 9,92 ± 1,65 e 19,96 ± 3,44), e SF₆, em ppt (31 ± 9,0, 106 ± 9,0 e 1076 ± 98,0), de acordo com Westberg et al. (1998).

As emissões de CH₄ foram calculadas a partir da proporção de CH₄:SF₆ na canga, com cada um dos gases corrigidos para a concentração do branco, em conjunto com a taxa de permeação pré-determinada das cápsulas de SF₆. Na seguinte equação, onde está subscrito M indica amostra medida do animal, e o subscrito BG indica a concentração do branco:

$$RCH_4 = RSF_6 \times \frac{(CH_4)_M - (CH_4)_{BG}}{(SF_6)_M - (SF_6)_{BG}} \times \left(\frac{MWCH_4}{MWSF_6} \right) \times 1000$$

e, ainda, RCH₄ (g/d) é a taxa de emissão de CH₄ ruminal calculada em g/d; RSF₆ representa a taxa de liberação da cápsula de SF₆ (mg/d); MWCH₄ é a massa molecular do CH₄ (16), e MWSF₆ é a massa molecular do SF₆ (146). As concentrações de CH₄ são expressas em ppm e as de SF₆ em ppt. O fator 1000 realiza a conversão da unidade para que RCH₄ seja expressa na unidade de g/d.

O potencial de emissão de metano foi expresso em diferentes unidades, como: gramas por dia (g/dia), quilos de metano por quilo de consumo de matéria seca (kg/kg CMS), quilos de metano por quilo de ganho médio diário (kg/kg GMD), gramas de metano por quilo de peso vivo (g/kg PV) e quilos de metano por quilos de equivalente carcaça (kg/kg). Essa última variável foi calculada tendo como base o GPV/ha/ano, multiplicado pelo rendimento de carcaça (apresentado a seguir) e dividido pela emissão de CH₄ em kg/ano.

Para o cálculo da relação percentual entre a energia bruta ingerida e a energia bruta perdida na forma de metano Ym% (Methane Yield), foi utilizado o valor de EB para *Brachiaria brizantha* de 16,15 e para *Brachiaria decumbens* de 17,11 (MJ/kg MS) propostos por Valadares-Filho et al., (2020). Foi ainda proposto um indicador de emissão de CH₄ em função do ganho médio diário e em relação ao ganho de peso vivo por hectare, obtido por meio da divisão da emissão de metano em gramas por quilo de ganho médio diário (gCH₄/kgGMD) pelo ganho de peso vivo por hectare por

ano (GPV/ha/ano). O objetivo desse indicador é evidenciar a intensidade de emissão de CH₄ em relação a eficiência do ganho por área.

2.2.7. Abate e rendimento de carcaça

Apenas os animais da segunda safra foram destinados ao abate quando atingiram em média 449 ± 51 kg de peso corporal. O mesmo foi realizado em frigorífico comercial (Frigorífico Fribordogue, Bariri/SP), seguindo a rotina do mesmo e de acordo com a normas brasileiras – RISPOA (Brasil, 1997). Após 16 h de jejum de sólidos e líquidos os animais foram insensibilizados por concussão cerebral por dardo cativo, sendo em seguida realizada a sangria, por meio, do corte da veia jugular. Logo após o abate, evisceração e toailete, foram coletadas informações sobre o peso da carcaça quente, e após 24 horas de resfriamento em câmara fria, foram coletadas informações de peso da carcaça fria. Neste mesmo momento, também foram coletados os pesos dos cortes principais (traseiro especial, ponta de agulha e dianteiro).

Da meia carcaça esquerda, foi retirada uma amostra do músculo *Longissimus thoracis* entre a 12^a e a 13^a costelas para mensuração real da área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura (EG), utilizando-se papel vegetal, grade reticulada (cm²) e régua milimetrada, respectivamente. O rendimento de carcaça (RC%) foi aferido quanto à relação percentual entre o peso vivo final (PVF) e o peso de carcaça fria (PCF), obtido a partir da equação:

$$RC(\%) = \frac{PCF \times 100}{PVF}$$

2.2.8. Forma de análise dos resultados

Os resultados obtidos foram estatisticamente analisados utilizando o SAS 9.4 (SAS Inst, Inc., Cary, NC), após verificada a normalidade dos resíduos pelo teste Shapiro-Wilk (PROC UNIVARIATE), os dados foram analisados seguindo o procedimento para modelos mistos (PROC MIXED) e as estações foram consideradas como variáveis repetidas no tempo (split-plot in time), exceto os dados pós abate. Entre as 15 estruturas de covariância testadas, a escolhida foi baseada no valor mais baixo dos critérios de informação de Akaike corrigido (AICC) (WANG; GOONEWARDENE, 2004).

O modelo incluiu como efeitos fixos os efeitos de tratamento (cinco diferentes sistemas), estação (primavera, verão, outono e inverno), período (ano 1 e 2) e interação entre tratamentos e estação. Os efeitos de bloco e estação (repetição de área) foram considerados como efeitos aleatórios. O peso vivo inicial foi utilizado como covariável para a análise final do CMS, CA, PVF, PCQ, GMD e para as variáveis de emissão de CH₄ (g/dia, kg/kgCMS, kg/kgGMD, kgCH₄/kg de carcaça eq., gCH₄/kgGMD / GPV/ha/ano). A matriz que melhor se ajustou aos dados foi a estrutura de covariância autoregressiva. Os efeitos foram considerados significativos quando $p < 0,05$. Todas as médias são apresentadas como médias corrigidas pela metodologia dos quadrados mínimos e as medias foram separadas pelo teste Tukey.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Massa de forragem, digestibilidade *in vitro* e disponibilidade de nutrientes

Tratando-se da composição química da forragem, foi observada para todas as variáveis avaliadas, efeito da interação sistema*estação em relação a composição química e a disponibilidade de massa de forragem. No geral, a massa de forragem, em kg/ha (Tabela 7; Figura 15), foi maior nos sistemas INT, ILP e ILPF na primavera (1203; 1174), verão (1870; 1862) e inverno (934; 750), intermediária nos sistemas com árvores (ILPF e IPF) na primavera (1177; 752), verão (1122; 996) e outono (1121; 695) e as menores para o EXT, principalmente no verão (499) e outono (426). No inverno, os sistemas com árvores foram semelhantes ao extensivo (EXT = 333; ILPF = 276; IPF = 303 kg MS/ha).

Durante a estação da primavera, apresentaram maior quantidade de massa de forragem digestível (kg/ha), os sistemas INT (695), ILP (656) e ILPF (715), seguidos pelo sistema IPF (415) juntamente ao EXT (324). Os sistemas com maior produção de massa de forragem digestível no verão, foram os sistemas INT (1091) e ILP (1059), seguidos pelos sistemas com árvores (ILPF = 691; IPF = 613), enquanto o sistema EXT produziu a menor quantidade de massa de forragem digestível nessa estação. No outono, novamente o sistema INT (785) e o ILP (947) produziram maiores quantidades de massa de forragem digestível, seguidos pelo ILPF (622). Os sistemas IPF e EXT produziram as menores quantidades de massa de forragem digestível durante o outono 388 e 225 kg/ha respectivamente. Finalmente no inverno, houve maior disponibilidade de massa de forragem digestível (kg/ha) no sistema INT (453), com produção abaixo do mesmo, ficaram os sistemas ILPF (119), IPF (128) e EXT (198), que não se diferenciaram. O ILP, nessa mesma estação, produziu 361 kg/ha de massa de forragem digestível e não se diferenciou do INT, ILPF, IPF e EXT (Tabela 7; Figura 16).

O montante de PB produzido na massa de forragem em kg/ha na estação da primavera, foi superior no ILPF (152), intermediário no INT (113) e ILP (110) e inferior no IPF (76) e EXT (51). Nas estações do verão e outono, os sistemas INT e ILP

produziram as maiores quantidades de PB em kg/ha seguidas do sistema IPF. Nessas mesmas estações o sistema EXT foi o que produziu menor quantidade de PB por hectare, ficando também abaixo do sistema ILPF que não se diferenciou dos demais. No inverno INT (62) e ILP (47) apresentaram maior disponibilidade de PB (kg/ha) e foram seguidos dos sistemas ILPF (19), IPF (20) e EXT (25), que não se diferenciaram entre si (Tabela 7; Figura 17).

O sistema EXT (352) durante a primavera apresentou menor quantidade de FDN disponível (kg/ha), em comparação aos demais sistemas (INT = 812, ILP = 770, ILPF = 847, IPF = 521). No verão, os sistemas INT (812) e ILPF (1335) foram superiores ao ILP (743) e IPF (663) que por sua vez foram superiores ao EXT (443). Na estação do outono, o sistema INT (1278) teve disponibilidade de FDN superior ao ILP (765), ILPF (1046) e IPF (466). O sistema extensivo (316 kg/ha) nesta mesma estação dispôs de menor quantidade de FDN em relação aos demais. Na última estação acompanhada, o inverno, os sistemas INT (554) e ILPF (693) apresentam maior disponibilidade de FDN (kg/ha) comparados aos demais (ILP = 198, IPF = 226 e EXT = 282) (Tabela 7; Figura 18).

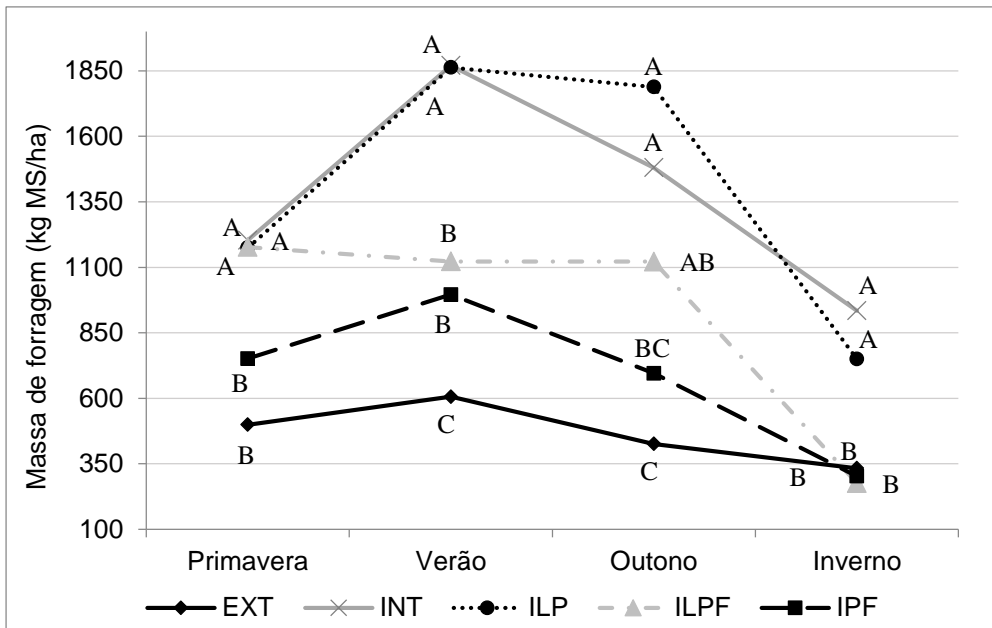
Em relação ao conteúdo de carboidratos não-fibrosos, os sistemas INT (124), ILP (135) e ILPF (132) durante a estação da primavera, apresentaram maior disponibilidade (kg/ha) em comparação ao sistema IPF (82) que por sua vez foi superior ao sistema EXT (45). No verão, o sistema ILP foi superior a todos os demais, na ordem, o sistema INT (199) foi inferior ao ILP (270), mas superior aos sistemas ILPF (124), IPF (111) e EXT (55). Os Sistemas com árvores não se diferenciaram, mas ainda foram superiores ao sistema EXT. Na estação do outono, os sistemas INT (169) e ILP (199) não se diferenciaram entre si, e foram superiores aos demais (ILPF = 128, IPF = 79, EXT = 40). O sistema ILPF foi superior ao IPF, que por sua vez, foi superior ao sistema EXT. Por fim, no inverno os sistemas INT (96) e ILP (78), como no outono, não se diferenciaram e foram superiores aos demais sistemas (ILPF = 33, IPF = 30, EXT = 32), que também não se diferenciaram entre os mesmos (Tabela 7; Figura 19).

Tabela 7 - Massa de forragem, disponibilidade de massa de forragem digestível (DIVMS) e nutrientes disponíveis em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)

| Efeito Fixos | | Variáveis | | | | |
|-----------------|-----------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Sistemas | Estação | Massa de forragem | DIVMS | PB | FDN | CNF |
| | | kg/ha | | | | |
| | | Efeitos Principais | | | | |
| EXT | | 465,90 | 279,0 | 39,70 | 348,1 | 42,70 |
| INT | | 1372,07 | 756,0 | 120,6 | 980,1 | 147,0 |
| ILP | | 1393,83 | 755,7 | 117,6 | 978,1 | 170,5 |
| ILPF | | 924,17 | 536,7 | 108,5 | 619,1 | 104,2 |
| IPF | | 686,33 | 386,1 | 76,4 | 469,0 | 75,4 |
| | Primavera | 961,09 | 560,9 | 100,5 | 660,3 | 103,5 |
| | Verão | 1291,49 | 764,7 | 130,6 | 890,4 | 151,7 |
| | Outono | 1102,20 | 593,5 | 104,6 | 774,1 | 122,7 |
| | Inverno | 519,06 | 251,7 | 34,50 | 390,7 | 54,0 |
| | | Médias | | | | |
| Média | | 968,5 | 542,7 | 92,6 | 678,9 | 108,0 |
| EPM | | 61,51 | 35,3 | 6,3 | 42,9 | 7,8 |
| | | Probabilidades Estatísticas | | | | |
| Sistema | | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 |
| Estação | | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 |
| Sistema*Estação | | 0,0004 | <0.0001 | <0.0001 | 0,0007 | <0.0001 |

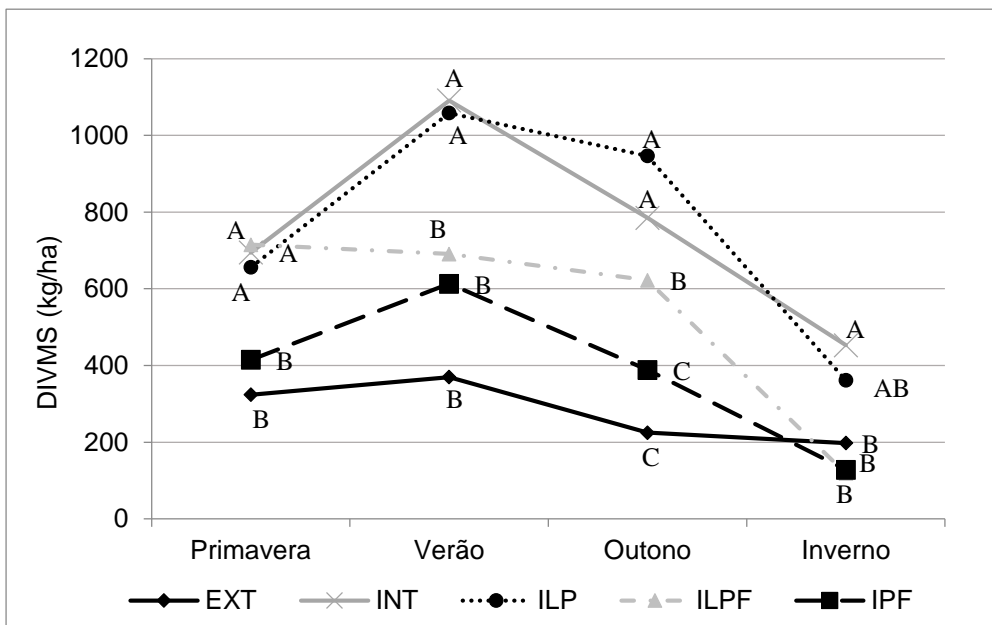
DIVMS Digestibilidade *in vitro* da matéria seca; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; CNF: Carboidratos não-fibrosos; EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Figura 15 - Massa de forragem durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)



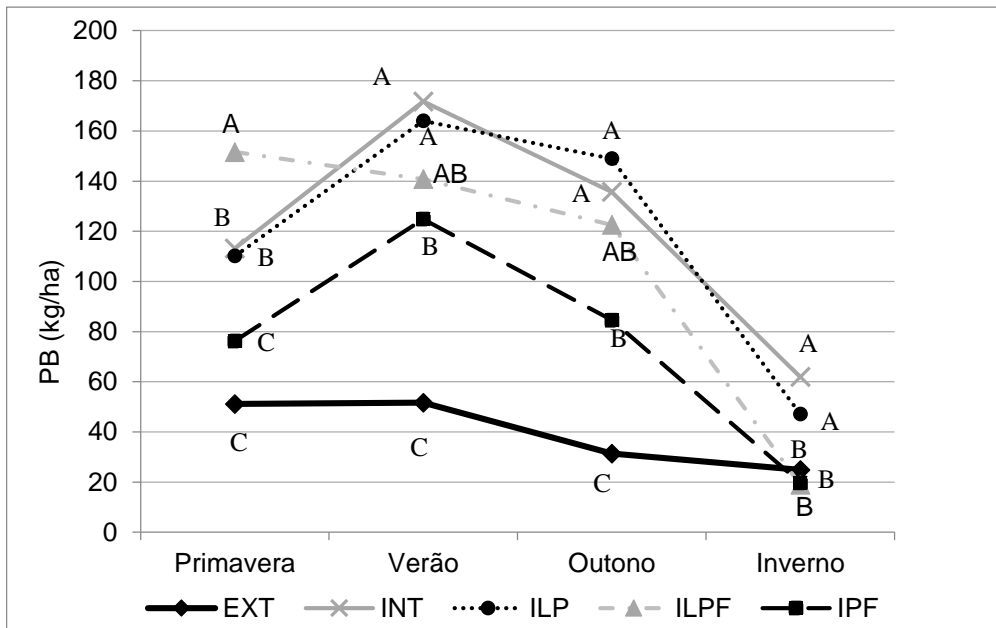
EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Figura 16 – Disponibilidade de massa de forragem digestível (digestibilidade *in-vitro* da MS) durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)



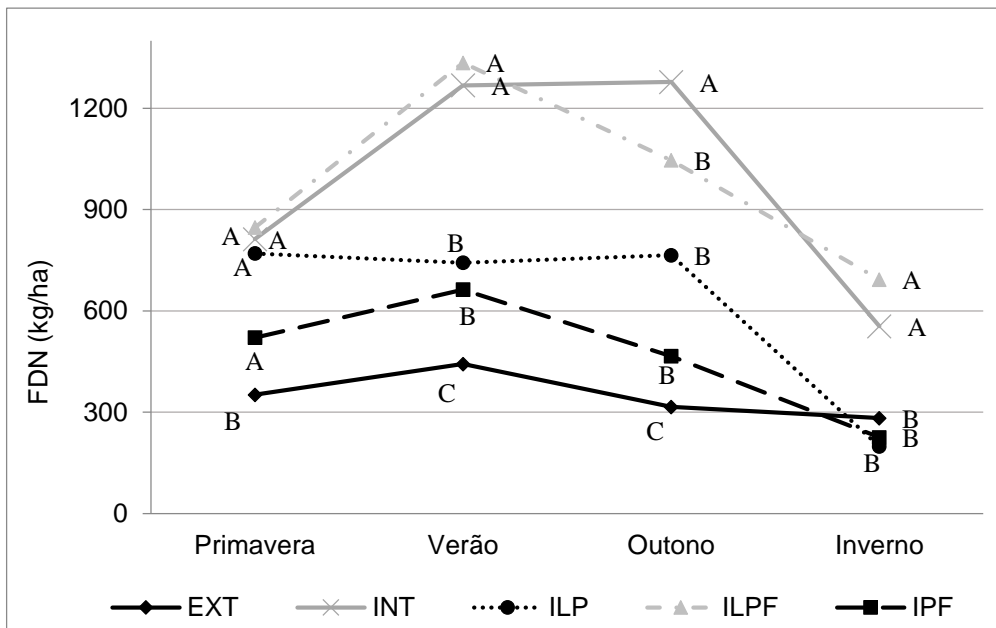
EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Figura 17 - Teor de proteína bruta durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)



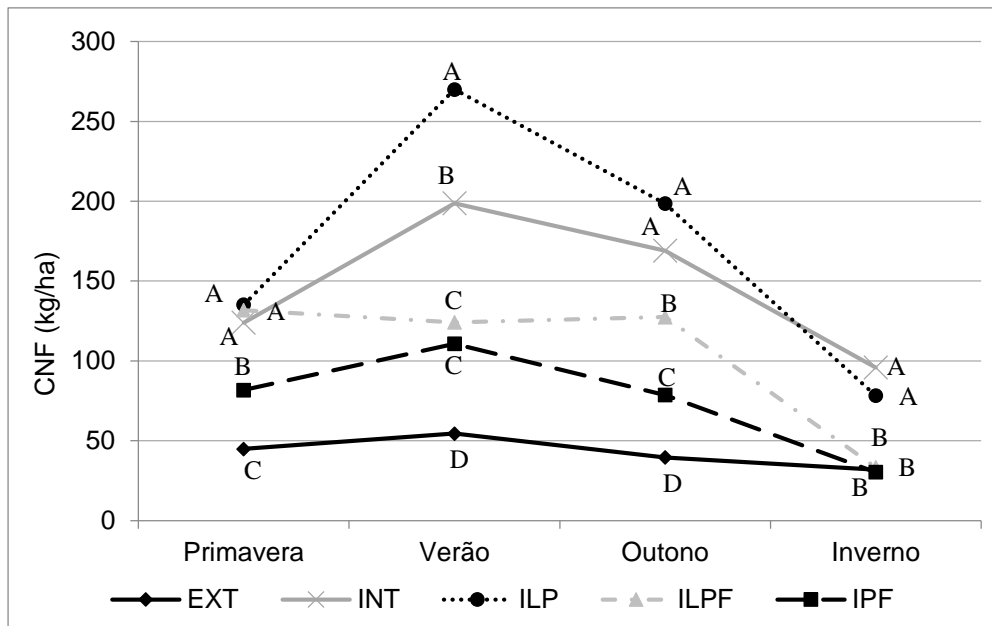
EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Figura 18 - Teor de fibra em detergente neutro durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)



EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Figura 19 - Teor de carboidratos não-fibrosos durante as estações em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)



EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

2.3.2. Desempenho animal e emissões de CH₄

O peso vivo inicial (PI) dos novilhos, como preconizado, não apresentou diferença significativa (Tabela 8), já o peso vivo final (PF) foi maior ($p < 0,05$) para os animais dos sistemas INT (484) e ILP (466) em comparação com os animais do ILPF (416), IPF (414) e EXT (429) (Tabela 8). O consumo de matéria seca (CMS) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), sendo que os animais do sistema ILPF apresentaram o maior consumo de MS em relação aos animais do EXT (8,9 vs. 7,4), enquanto os animais dos sistemas INT (8,2), ILP (7,5) e IPF (8,3) foram equivalentes tanto ao sistema ILPF quanto ao EXT (Tabela 8).

Ao avaliar o ganho dos animais por hectare (GPV/ha/ano), o sistema EXT foi o que apresentou menor produção animal ($p < 0,05$) quando comparado ao sistema INT. Os sistemas ILP e IPF não se diferenciaram entre si, e apresentaram produção de peso vivo por hectare semelhante ao sistema INT e ao ILPF, mas superior do EXT. Por fim, o GPV/ha/ano no sistema ILPF foi inferior ao sistema INT, mas similar ao sistema EXT (Tabela 8).

A emissão de CH₄ expressa em gramas por dia e em gramas por quilograma de peso vivo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Já a emissão em relação ao consumo de matéria seca (kgCH₄/kgCMS), e a porcentagem da energia bruta convertida e emitida em forma de CH₄ entérico (Ym%) foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Para ambas variáveis, os sistemas EXT, INT e ILP emitiram maior fração de CH₄, comparados ao sistema ILPF, expressa nas duas unidades a emissão do sistema IPF foi equivalente à dos demais sistemas (Tabela 8). A intensidade de emissão em relação a eficiência de ganho da área gCH₄/kgGMD / GPV/ha/ano foi significativamente ($p > 0,05$) diferente entre os sistemas. O sistema INT foi o que apresentou mais baixa intensidade em comparação ao sistema EXT e ILPF, não se diferenciando dos sistemas ILP e IPF. Esses dois últimos sistemas não se diferenciaram, mas foram também equivalentes ao ILP, que por sua vez foi semelhante ao sistema EXT (Tabela 8).

Tabela 8 - Variáveis de desempenho e emissão de CH₄ de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)

| Variáveis | Sistemas | | | | | | p-value |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|
| | EXT | INT | ILP | ILPF | IPF | EPM | |
| PI (kg) | 253 | 267 | 256 | 267 | 267 | 8,39 | 0,5940 |
| PF (kg) | 429b | 484a | 466a | 416b | 414b | 16,76 | <0,0001 |
| CMS (kg/dia) | 7,4b | 8,2ab | 7,5ab | 8,9a | 8,3ab | 0,37 | 0,0008 |
| GPV/ha/ano | 290c | 615a | 487ab | 385bc | 497ab | 53,98 | <0,0001 |
| CH ₄ (g/dia) | 199,7 | 226,1 | 209,8 | 180,9 | 196,7 | 7,3 | 0,1606 |
| CH ₄ (g/kg PV) | 0,62 | 0,58 | 0,61 | 0,53 | 0,58 | 0,03 | 0,2047 |
| CH ₄ (kg/kg CMS) | 0,028a | 0,028a | 0,029a | 0,022b | 0,025ab | 0,001 | <0,0001 |
| Ym (%) | 9,3a | 9,4a | 9,9a | 7,5b | 8,3ab | 0,5 | 0,0001 |
| gCH ₄ /kgGMD / GPV/ha/ano | 1,6a | 0,6c | 0,8bc | 1,1ab | 0,7bc | 0,09 | 0,0031 |

^{a,b}Médias com letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente a $p \leq 0,05$ de significância. *PV: Peso vivo; Ym: Fator de conversão do CH₄ (% da EB ingerida convertida e emitida em forma de CH₄); EPM: erro padrão da média; EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Foi observada interação sistema*estação para a variável taxa de lotação (UA/ha), na primavera e inverno todos os sistemas foram semelhantes. No outono, foi observado menor taxa de lotação (UA/ha) para o sistema extensivo. No verão, a maior taxa de lotação (UA/ha) foi observada nos sistemas INT e IPF em relação ao sistema

EXT. Os sistemas ILP e ILPF apresentaram taxas semelhantes às do IPF e EXT quando calculadas em UA/ha (Tabela 9; Figura 20).

A variável conversão alimentar (Tabela 9; Figura 21), também apresentou interação sistema*estação, sendo que, na primavera os sistemas não se diferenciaram. Já no verão, os animais do sistema ILPF consumiram mais que o dobro de forragem, para cada kg de ganho de peso vivo em relação aos animais do sistema ILP (14,4 vs. 6,7), os demais sistemas não se diferenciaram de ambos anteriores (INT = 11,2, EXT = 9,5, IPF = 11,2). No outono os animais que pastejaram os sistemas EXT, ILPF e IPF consumiram em média 12,5 kg a mais de forragem para cada kg de ganho de peso vivo em comparação aos sistemas INT e ILP. Por fim, na estação do inverno, os animais do sistema IPF consumiram mais que o dobro da forragem consumida para cada kg de ganho de peso vivo, em relação aos animais do sistema ILP. Os sistemas ILPF e EXT foram semelhantes ao IPF como também ao ILP, os animais deste último também apresentaram CA equivalente aos do sistema INT.

Interação sistema*estação também foi observada para a variável ganho médio diário (GMD) (Tabela 9; Figura 22). Na estação da primavera e outono, o GMD foi semelhante para todos os sistemas. No verão, os animais que pastaram no ILPF apresentaram GMD 61,5; 36,5 e 27% menor quando comparados ao ILP, INT e IPF, não demonstrando diferença para o EXT. Os animais dos sistemas ILPF e IPF durante o inverno exprimiram GMD inferior aos outros sistemas (EXT = 0,31; INT = 0,40; ILP = 0,41; ILPF = 0,09; IPF = 0,09), que não se diferenciaram.

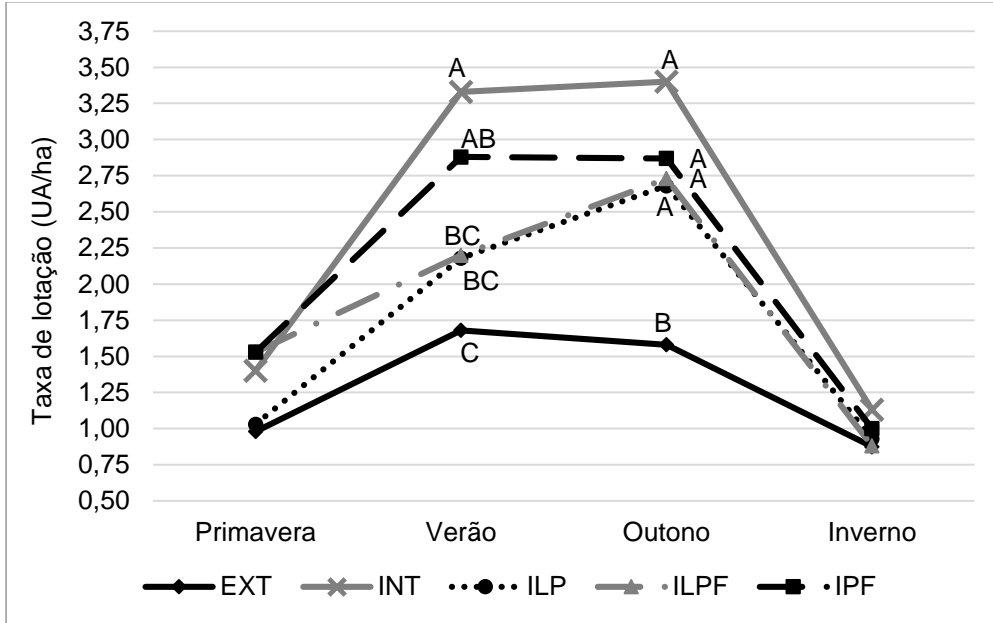
A emissão de metano estimada em relação ao GMD (Tabela 9; Figura 23), apresentou interação sistema*estação, como as variáveis anteriores. Na estação do verão, os animais dos sistemas extensivo e intensivo emitiram aproximadamente 0,2 kg a mais de CH₄ entérico por kg de GMD, em comparação aos animais do sistema ILP, já os sistemas com componente arbóreo foram similares a ambos os anteriores. Na estação do outono, os animais do sistema EXT emitiram quantidades de CH₄ 50% maiores por kg de GMD quando comparados aos novilhos do ILP e INT, novamente os sistemas ILPF e IPF foram equivalentes aos demais nesta mesma estação (Figura 23).

Tabela 9 – Taxa de lotação, Conversão alimentar, Ganho médio diário e Emissão de CH₄ por kg de GMD de bovinos criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias dos dois períodos)

| Efeitos Fixos | | Variáveis | | | |
|-----------------------------|-----------|-------------------------|----------------|--------------|----------------------------|
| Sistemas | Estação | Taxa de lotação (UA/ha) | CA (kgMS/kgPV) | GMD (kg/dia) | CH ₄ (kg/kgGMD) |
| EXT | | 1,3 | 26,2 | 0,46 | 0,465 |
| INT | | 2,3 | 17,0 | 0,59 | 0,378 |
| ILP | | 1,7 | 14,9 | 0,58 | 0,343 |
| ILPF | | 1,8 | 20,6 | 0,43 | 0,441 |
| IPF | | 2,1 | 22,5 | 0,44 | 0,450 |
| | Primavera | 1,3 | 12,7 | 0,67 | 0,342 |
| | Verão | 2,5 | 11,9 | 0,68 | 0,293 |
| | Outono | 2,7 | 24,9 | 0,42 | 0,562 |
| | Inverno | 0,96 | 31,5 | 0,23 | 0,466 |
| Médias | | | | | |
| Média | | 1,8 | 20,2 | 0,50 | 0,416 |
| EPM | | 0,10 | 3,3 | 0,02 | 0,053 |
| Probabilidades Estatísticas | | | | | |
| Sistema | | <0,0001 | >0,0001 | <0,0001 | 0,0031 |
| Estação | | <0,0001 | >0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Sistema*Estação | | 0,0049 | 0,0201 | <0,0001 | 0,0007 |

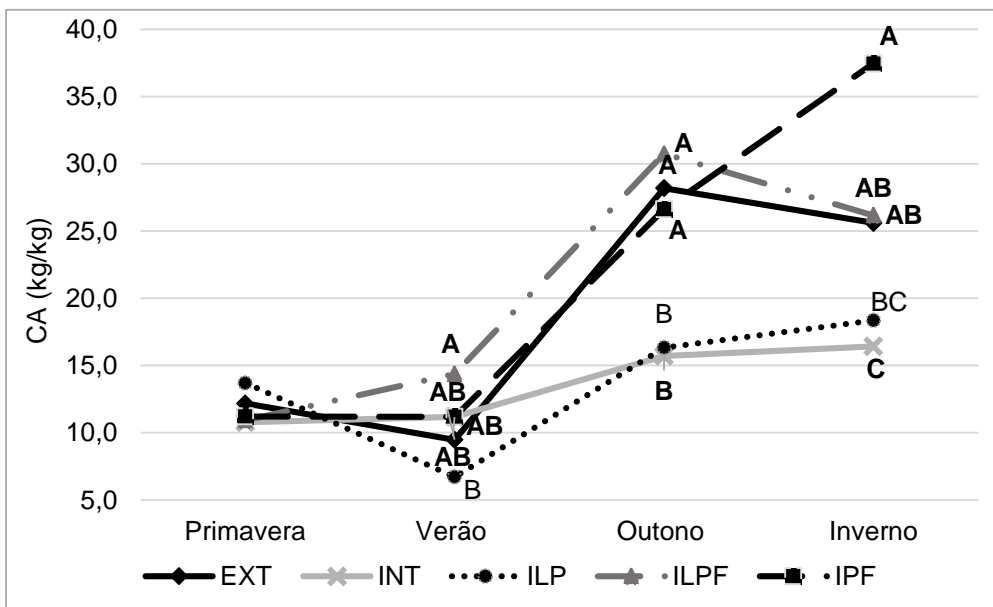
GMD: Ganho médio diário; CA: Conversão alimentar. EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Figura 20 - Taxa de lotação nos diferentes sistemas em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias dos dois períodos)



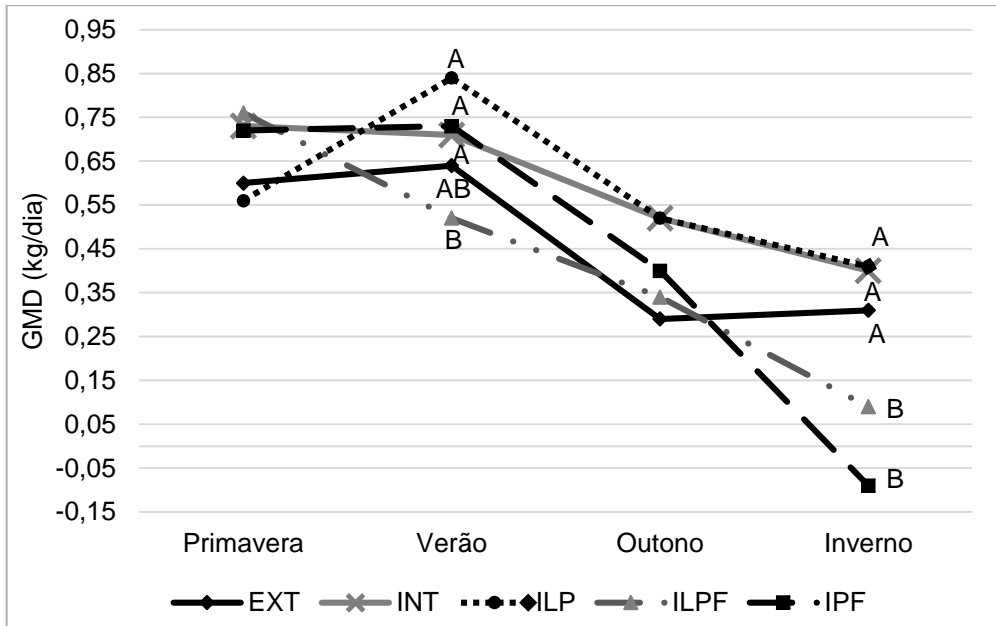
EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

Figura 21 – Conversão alimentar (kg/kg) de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)



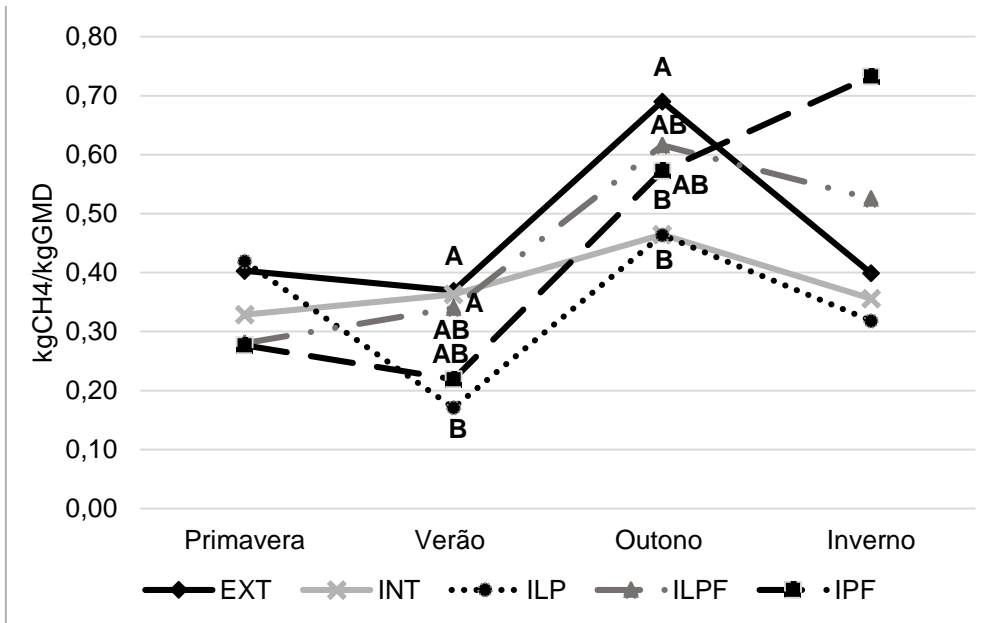
EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta. CA: Conversão alimentar

Figura 22 – Ganho médio diário durante de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias de dois anos)



EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta. GMD: Ganho médio diário

Figura 23 - Emissão de CH₄ (kg) em relação ao GMD (kg) de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (médias dos dois períodos)



EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta.

2.3.3. Características de carcaça e intensidade de emissão de CH₄ em relação a produção de carcaça equivalente

Para as características de carcaça (Tabela 10), um mesmo padrão foi observado para rendimento de carcaça (RC), e espessura de gordura (EG), em que animais dos sistemas INT e ILP apresentaram maiores valores ($p < 0,05$) quando comparados com animais provenientes do ILPF, IPF e EXT. Quanto ao peso de carcaça quente (PCQ), o sistema ILP se apresentou carcaças mais pesadas ($p < 0,05$) em comparação ao IPF e EXT, já os sistemas INT e ILPF se equiparam aos três anteriores. Para área de olho de lombo (AOL), a menor média foi dos novilhos criados no EXT, enquanto a maior foi dos animais do INT. Os demais tratamentos apresentaram áreas intermediárias com o ILP próximo ao INT e ILPF e IPF próximos aos EXT.

A intensidade de emissão de CH₄ (Tabela 10) calculada em relação a produção de carcaça (kg CH₄/kg de carcaça eq.) se diferenciou ($p < 0,05$) entre os sistemas sendo que os animais do sistema EXT emitiram mais metano por kg de carcaça produzido comparados a todos os outros sistemas, que não se diferenciaram.

Tabela 10 - Características da carcaça de bovinos de corte criados em diferentes sistemas de produção em pastagem no sudeste do Brasil (dados do segundo período)

| Variáveis | Sistemas | | | | | | p-value |
|----------------------------------------|----------|---------|--------|---------|--------|-------|---------|
| | EXT | INT | ILP | ILPF | IPF | EPM | |
| PCQ (kg) | 224,0b | 254,8ab | 268,2a | 227,4ab | 213,8b | 10,20 | 0,0041 |
| RC (%) | 52,9b | 54,5a | 53,9a | 51,5b | 51,7b | 0,73 | 0,003 |
| AOL (cm ²) | 61,9c | 75,5a | 70,6ab | 64,9bc | 64,8bc | 4,04 | 0,015 |
| EG (mm) | 1,2b | 2,6a | 3,2a | 0,7b | 1,2b | 0,63 | 0,006 |
| kg CH ₄ /kg de eq. Carcaça. | 0,496a | 0,250b | 0,297b | 0,345b | 0,286b | 0,024 | 0,0047 |

^{a,b} Médias com letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente a $p \leq 0,05$ de significância. EPM = erro padrão da média. *PCQ: Peso de carcaça quente; RC: Rendimento de carcaça; AOL: Área de olho de lombo; EG: Espessura de gordura. † EXT: Extensivo; INT: Intensivo; ILP: Integração lavoura-pecuária; ILPF: Integração lavoura-pecuária-floresta; IPF: Integração pecuária-floresta

2.4. DISCUSSÃO

2.4.1. Massa de forragem, digestibilidade *in vitro* e disponibilidade de nutrientes.

As técnicas de correção/adubação do solo e lotação rotativa empregadas nos sistemas intensificados e/ou integrados, assim como a presença das árvores (ILPF e IPF), influenciaram a disponibilidade de massa de forragem digestível (kg/ha) e a produção de nutrientes por tratamento (kg/ha). Pastagens são ambientes complexos, e a união de uma série de fatores, interfere no crescimento e qualidade das gramíneas. Em uma mesma área existe variabilidade no material disponível e nos nutrientes presentes em cada porção pastejada pelos animais, por isso, uma melhor forma de analisar os componentes como um todo, é relacionar as características químicas do pasto com a produção de massa, obtendo assim, uma visão mais global da área analisada.

A produção intermediária de massa de forragem em matéria seca, identificada nos sistemas com árvores (ILPF e IPF) em comparação com sistemas intensificados, porém, sem árvores (INT e ILP) pode ser explicada pela disponibilidade de fatores como energia luminosa e / ou água. Os sistemas integrados são mais complexos do que aqueles em que apenas a agricultura, o gado e a madeira são produzidos separadamente (PEZZOPANE et al., 2019a). O componente arbóreo altera o microclima do sistema de produção de pastagem (DE MORAES et al., 2014), influenciando o crescimento das plantas forrageiras (PEZZOPANE et al., 2019a), devido à competição por energia luminosa, nutrientes e água disponíveis no solo (DEISS et al., 2014). Oliveira et al. (2014), também observaram uma maior disponibilidade de massa seca de forragem de capim Piatã, no tratamento sem árvores, quando comparado aos tratamentos do sistema Integração pecuária-floresta. Ainda, Santos et al. (2018), concluíram que a disponibilidade de matéria seca, as características químicas e estruturais do capim-piatã são afetadas pelos sistemas IPF.

Os sistemas intensificados e/ou integrados apresentaram vantagens no tocante da produção de massa de forragem digestível e nutrientes por hectare, durante todo o ano no caso do sistema INT e ILP, ou na maior parte do ano, como nos sistemas plantados com o componente arbóreo. Mesmo o sistema com baixo aporte

tecnológico (EXT), demonstrou que o simples controle criterioso da carga animal pode significar índices de produção superiores uma vez que, a lotação animal média, por exemplo, foi acima da média nacional, 1,3 vs. 1,06 UA/ha respectivamente (ABIEC, 2020). A produção de nutrientes e a disponibilidade de massa de forragem digestível nos diferentes tratamentos, seguiu a mesma tendência da produção de massa de forragem. Exceto para a variável FDN no sistema ILP, que apesar dos maiores valores de massa de forragem apresentou menor conteúdo disponível de FDN, o que é vantajoso e indicativo de uma melhor qualidade da forragem.

Sousa et al. (2011), não identificaram diferenças nos tratamentos em relação à disponibilidade de massa de forragem digestível, relacionados ao efeito de sombra em sistemas arborizados, ao contrário do presente experimento, onde os sistemas arborizados apresentaram massa de forragem digestível intermediária em comparação aos outros dois sistemas intensificados e ao extensivo. Segundo Coêlho et al. (2018), a digestibilidade pode variar de acordo com as espécies de gramíneas, o grau de sombreamento e a estação do ano. Esses fatores, além da produção de massa de forragem, podem explicar as diferenças observadas nos valores de massa de forragem digestível disponível por tratamento avaliado e ao longo das estações no presente estudo. Como no presente trabalho, Santos et al. (2018) identificou maior disponibilidade de massa de forragem digestível e PB, no tratamento de pastagem de capim Piatã sem árvores, quando comparado aos tratamentos do sistema Integração pecuária-floresta.

No sudeste brasileiro, o clima é bem definido, sendo que normalmente a primavera e o verão são quentes e úmidos, enquanto o outono e o inverno são secos e frios. Por esse motivo, nas estações secas há maior competição por água. O que culmina e pode ser observado no presente experimento, com a queda geral na produção de massa de forragem e nutrientes nas estações secas e o caso contrário nas águas. Segundo Paciullo et al. (2007), em condições sombreadas, o valor nutricional da forragem é favorecido pelo aumento do teor de proteína e DIVMS, além de uma redução no FDN. Esse efeito é observado, pois as plantas sob sombra apresentam uma taxa de crescimento mais lenta em comparação às plantas sob pleno sol (BELESKY et al., 2011), a manutenção do estágio vegetativo por mais tempo leva a valores mais altos de PB, como observado no presente experimento para sistemas arborizados. Em relação à competição por energia luminosa, segundo Pandey et al.

(2011), o sombreamento pode ser favorável para aumentar a qualidade da forragem, a sombra melhora o alongamento das folhas, as taxas de aparência das folhas e o comprimento da lâmina foliar, porém reduz o perfilhamento (PACIULLO et al., 2011).

2.4.2. Desempenho animal

O maior acúmulo de massa de forragem digestível e nutrientes, além da melhor conversão alimentar observada nos sistemas INT e ILP durante a maior parte do ano, refletiram em um peso vivo final 14 e 11% maior quando comparado aos sistemas com árvores e 11 e 8% maior que o EXT para ganho por animal e por área. Embora um CMS mais alto tenha sido observado no sistema ILPF em relação ao EXT, esse fator não resultou em maiores ganhos no peso corporal dos animais, já que, os dois foram equivalentes para as variáveis GMD e GPV/ha. Para essas mesmas variáveis os sistemas INT e ILP se destacaram novamente, mesmo com consumo equiparado tanto ao ILPF quanto ao EXT.

Em geral, a ingestão de matéria seca observada se aproxima dos valores preditos por Azevêdo et al. (2010) e o NRC (2016), 7,8 e 8,7 kg/MS/dia, respectivamente. Esses dados estão de acordo com Pontes et al. (2018), que também observaram maior GMD e taxa de lotação no sistema integrado, sem árvores, e com Oliveira et al. (2018), que relataram que o PV, o GMD e a taxa de lotação aumentaram com a intensificação dos sistemas de pastejo, na mesma forma detectada nos sistemas INT e ILP neste ensaio. Sakamoto (2018), como no presente experimento, observou diferenças significativas em relação ao CMS, GMD e CA, comparando sistemas de pastagem com diferentes níveis de intensificação a um sistema extensivo de baixa lotação.

Assim como a menor produção de massa de forragem, observada nos sistemas ILPF e IPF no inverno, o GMD e o GPV/ha dos animais nesses sistemas também foram os mais baixos. Em contrapartida, Oliveira et al. (2014) e Santos et al. (2018) não encontraram diferenças no GMD de animais criados em um sistema Integração pecuária-floresta em comparação com aqueles que pastejaram áreas sem árvores. Com o aumento da proporção de árvores no sistema e, conseqüentemente, o efeito de sombreamento, houve redução na densidade de forragem (SANTOS et al.,

2018), da mesma forma observada neste ensaio. O componente arbóreo nos sistemas de pastagem de gado protege os animais do vento e de temperaturas extremas (LOPES et al., 2016). A inclusão de árvores nos sistemas de pastagem no presente estudo resultou em um efeito positivo nas condições ambientais e no crescimento de plantas forrageiras, mas refletiram em um menor desempenho animal quando comparados aos sistemas sem árvores, como também verificado por Pontes et al. (2018).

Os sistemas ILP e ILPF apresentaram a menor taxa de lotação (UA/ha) durante o verão, quando comparados ao INT e IPF, devido à redução da área (1/3) disponível para os animais, para dar lugar a cultura do milho e subsequente reforma da pastagem. Esse fato é inerente aos sistemas de produção integrados e é interessante destacar que, nos sistemas, ILP e ILPF foram produzidos 34,7 e 26,6 t/ha de massa verde de milho (PEZZOPANE et al. 2019a) e 35,7 m³ / ha de acúmulo na produção de madeira (dados não publicados) para o sistema ILPF. Embora a menor taxa de lotação observada no verão, os sistemas agrícolas integrados podem gerar renda adicional para os agricultores, como milho nos sistemas ILP e ILPF e madeira para ILPF. Argumento apoiado por Salton et al. (2013) que concluem que os integrados a cultura do milho, também tem um desempenho melhor em termos de produção de carne bovina devido aos efeitos positivos da rotação entre a produção agrícola e pecuária.

Neste experimento, os sistemas integrados com o milho, a lavoura foi colhida para ensilagem, porém esse alimento produzido não retornou e não foi oferecido aos animais desses mesmos sistemas no momento em que, a produção, a qualidade da forragem e conseqüentemente a taxa lotação foram reduzidas. Hipoteticamente, seria de esperar que se os animais fossem suplementados com silagem de milho nesse momento, a taxa de lotação e o desempenho animal obtidos seriam maiores do que os observados. Portanto, é importante destacar mais essa opção que a dinâmica dos sistemas integrados traz ao produtor.

Olhando para o desempenho animal, os sistemas de cultivo integrados com árvores (ILPF) apresentaram 10,7% menor PV final quando comparados aos sistemas de cultivo integrado (ILP) sem árvores. Como descrito anteriormente, o provável efeito de sombreamento das árvores, que reduziu o crescimento e conseqüentemente o

acúmulo de forragem, refletiu diretamente na resposta dos animais. Pontes et al. (2018) avaliaram o desempenho de novilhas em sistemas agrícolas integrados (com e sem árvores), com dois níveis de suplementação durante o inverno e relataram GMD e taxa de lotação reduzidas para os sistemas de produção integrados com árvores, em comparação com os a pleno sol, conforme observado neste estudo. De qualquer forma esses sistemas apresentaram lotação anual 70 e 98% (ILPF e ILP respectivamente) acima da observada em média no Brasil em 2019 (ABIEC, 2020). Isso demonstra o potencial produtivo desses sistemas, uma vez que além da pecuária há a produção das culturas integradas como comentado anteriormente.

2.4.3. Emissão de CH₄ entérico

Apesar de não ter apresentado diferença significativa, a emissão média de CH₄ no presente experimento foi de 202,6 (g/dia), valor este que está numericamente acima do predito pela metodologia Tier 1 proposta pelo IPCC (EGGLESTON et al., 2006), que é de 156,0 (g/dia). As diferenças observadas em relação a emissão de CH₄ por kg de ingestão de MS, assim como para variável Y_m%, está ligada diretamente as diferenças observadas no CMS uma vez que não houve diferença significativa entre as emissões brutas (g/dia).

Segundo Buddle et al. (2011), o consumo de matéria seca é o fator mandatário que pode modificar as emissões de metano em ruminantes, dessa forma a emissão de metano por unidade de consumo de MS pode aumentar ou diminuir de acordo com o nível de consumo, o que pode ser explicado por um maior *turnover* ruminal levando a menor digestibilidade da massa ingerida. Sakamoto (2018) comparou níveis de intensificação e intensidades de emissão e não encontrou diferença significativa na média geral das emissões por tratamento, como observado no presente experimento, mas identificou diferenças entre tratamentos nas diferentes estações em decorrência da interação tratamento*estação.

Diferentes trabalhos também demonstram a influência da qualidade da pastagem sobre a emissão de CH₄, o aumento da digestibilidade das forragens por exemplo é uma opção para a mitigação das emissões, de maneira que o aumento na qualidade do alimento aumenta a eficiência de produção diminuindo a perda de energia na forma de metano. (CLARK; KELLIHER; PINARES-PATIÑO, 2011). De

acordo com Pinares-Patiño et al. (2016), a emissão de CH₄ e o peso vivo estão positivamente correlacionados, o que pode ser observado no peso final maior e maior emissão (g/dia) dos animais do sistema INT. Ainda, segundo Mercadante et al. (2015), não existem evidências que animais de maior eficiência produzam menos metano entérico, mesmo se apresentarem menor consumo de alimentos e desempenho equivalente ao de animais considerados ineficientes.

Em relação as diferenças observadas nas emissões de metano por kg de GMD e em decorrência da interação sistema*estação, no verão, os sistemas EXT e INT em virtude do baixo GMD apresentado em ambos nesta mesma estação a emissão foi cerca de 0,2 kg maior em comparação ao sistema ILP, sendo que os sistemas com componente arbóreo foram intermediários aos demais nesta estação. No outono, o sistema EXT apresentou o maior valor, resultado de um GMD baixo (mas não diferente dos demais sistemas exceto o ILP) e uma emissão média (semelhante ao ILP e IPF). Os animais deste sistema emitiram cerca de 230g de metano a mais que os sistemas INT e ILP para ganhar o mesmo peso. Os sistemas com árvores novamente não se diferenciaram dos outros dois sistemas intensificados ou do EXT para esta variável.

Diferentes trabalhos (PONTES et al., 2018; SAKAMOTO, 2018) que analisaram níveis de intensificação das pastagens e sistemas integrados, com e sem árvores, não encontraram diferenças entre os tratamentos nas emissões brutas (gCH₄/dia) ou nas calculadas em relação ao peso vivo, porém, identificaram diferenças significativas entre estações ou períodos nas emissões em relação ao GMD ocasionadas pelos efeitos indiretos do desempenho (GMD e taxa de lotação). Como no presente trabalho esses mesmos autores observaram uma maior emissão por kg/GMD quando o GMD foi inferior ao de sistemas intensificados (SAKAMOTO, 2018) e/ou integrados (PONTES et al., 2018)

O indicador de intensidade de emissão de CH₄ (gCH₄/kgGMD / GPV/ha/ano), parece ter cumprido o objetivo ao qual foi proposto, uma vez que, pôde evidenciar a intensidade de emissão de CH₄ em relação a eficiência do ganho por área de cada sistema. A avaliação da emissão de metano em animais criados em pastagem é sempre um processo desafiador, desde as técnicas disponíveis, até a análise e interpretação dos resultados. Muitas vezes o N experimental e amostras disponíveis para comparação, não configuram o suficiente para que seja observado diferença

entre os tratamentos avaliados. Por isso, é importante a interpretação das variáveis disponíveis e a comparação entre as que sejam pertinentes, e podem evidenciar as características produtivas em relação as emissões do que se objetiva avaliar. Ficou evidente que a intensificação e emprego de tecnologias sustentáveis nos sistemas de pastagens, reduzem a intensidade de emissão do CH₄ por kg de produto produzido.

A maior intensidade de emissão em kg de CH₄ emitidos em comparação ao montante de carcaça produzido (kg de carcaça eq./ha), apresentada pelo sistema Extensivo foi provavelmente efeito da menor disponibilidade de massa de forragem, nutrientes e menor CMS, o que levou a um menor GMD e peso final, mesmo não havendo diferença na emissão bruta de CH₄, os animais deste sistema, emitiram em média mais 247, 211, 200 e 151 g de CH₄ que os sistemas INT, IPF, ILP e ILPF respectivamente, em reflexo da menor produção de carcaça por hectare.

A intensificação do manejo das pastagens de maneira a melhorar a eficiência alimentar ou a produtividade, utilizando forragens de melhor qualidade e animais com mérito genético, podem reduzir as emissões de metano por unidade de produto (OLIVEIRA SILVA et al., 2017), com uma produção em menor área e tempo até o abate, o que evita a abertura de novas áreas de florestas para pastagens (CARDOSO et al., 2016). Para uma intensificação sustentável das pastagens levando em consideração o benefício dos animais, plantas e solo. Deve ser sempre preconizado: a relação entre o C ingerido e o retornado ao solo, uma vez que os bovinos em pastoreio são os catalisadores, reciclando material vegetal e modificando a dinâmica dos nutrientes (DE MORAES et al., 2013).

De acordo com Oliveira Silva et al. (2016) a recuperação das áreas de pastagem apresenta o maior potencial de mitigação de GEE devido ao sequestro de carbono pelas plantas e o depósito de carbono no solo. Ponte et al. (2018) estimaram que o potencial de sequestro de C da biomassa lenhosa em uma densidade acima de 159 árvores/ha, compensa mais do que o aumento das emissões por unidade de área, o que torna os sistemas integrados de produção animal com árvores, uma estratégia promissora de mitigação de CO₂ nas regiões subtropicais.

2.4.4. Características de carcaça e intensidade de emissão de CH₄ em relação a produção de carcaça equivalente

Os efeitos nas características de carcaça e na produtividade foram dependentes da resposta animal em interação com os sistemas de produção em pastagem. Foi observado melhor desempenho para o INT e ILP, o mesmo padrão ocorreu para as características de carcaça e porção comestível de carcaça. Oliveira et al. (2018) relatam que o desenvolvimento muscular aumentou com a intensificação dos sistemas de pastejo, conforme verificado neste trabalho no INT e ILP. Em contraste a estes resultados. Luz et al. (2019) relatam características de carcaça e EGS semelhantes para sistemas de cultivo integrados, com ou sem árvores.

A área de olho de lombo é correlacionada com a quantidade total de músculo na carcaça e os animais do INT e ILP apresentaram maior AOL, enquanto os sistemas extensivos e com árvores, a menor AOL em comparação ao INT. A gordura subcutânea variou de 0,1 a 3,2 mm, valores abaixo das exigências do mercado brasileiro de espessura de gordura na carcaça, desejada entre 3 e 6 mm (LUCHIARI FILHO, 2000). Os sistemas que atenderam ao mínimo exigido foram o INT e ILP. Neste estudo, os sistemas diferiram na presença arbórea ou não com o mesmo nível de intensificação, exceto o sistema EXT, que explica a produção de carcaça 54% e 41% menor observada quando comparada com INT e ILP, respectivamente. No entanto, o EXT, apresentou produção semelhante aos sistemas sem árvores, provavelmente pelos efeitos de sombreamento nos sistemas com árvores, que afetaram o acúmulo de forragem e, conseqüentemente, o crescimento dos animais.

Embora os sistemas com árvores tenham apresentado produtividade semelhante ao EXT, eles também foram semelhantes ao ILP, indicando que é possível se beneficiar desses sistemas com alguma recomendações como: 1) para melhorar a disponibilidade de massa seca de forragem, realizar desbaste das árvores (PEZZOPANE et al. , 2019a); 2) remover linhas alternadas de árvores (renques) ou outras árvores alternadas na mesma linha (PACIULLO et al., 2007), o que reduz a competição por água e 3) a remoção de galhos mais baixos (desrama) pela redução da sombra (NICODEMO et al., 2016). No presente experimento os animais dos sistemas intensificados e integrados produziram mais kg de carcaça por unidade de área e conseqüentemente menos CH₄ por kg de carcaça produzida, em pastagens

com solos de maior potencial de sequestro de C, como indicado por Oliveira Silva et al. (2017).

2.5. CONCLUSÃO

Bovinos de corte criados em sistemas de produção em pastagem intensificados e/ou integrados, tem acesso a maior disponibilidade de massa de forragem e nutrientes do que os criados extensivamente. Sistemas de pastagem que recebem tecnologias como, correção e adubação do solo, são manejados com lotação rotativa ou ainda integrados com a cultura do milho, podem produzir animais com maior peso final e ganho médio diário, o que dilui as emissões de CH₄ ruminal por kg de ganho de peso. Nesses mesmos sistemas uma maior eficiência no ganho por área é obtida, ou ainda, nos que são integrados com o componente florestal, porém, a medida que a complexidade dos componentes dentro de uma mesma área aumenta, como na Integração lavoura pecuária floresta, o ganho por área pode se equiparar ao de sistemas com manejo extensivo e controle da lotação animal. Ainda, esse mesmo padrão é observado na intensidade de emissão de metano em relação a eficiência do ganho animal por área. Maior rendimento e acabamento de carcaça são obtidos de animais provenientes sistemas de produção em pastagem, intensificados e/ou integrados com a cultura do milho. Animais produzidos em sistemas intensificados e integrados emitem menos metano por kg de carcaça produzida do que aqueles criados em sistemas manejados extensivamente.

2.6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. 2020. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>. Acesso em: fevereiro de 2020.

AZEVEDO, J.A.G.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S.; VALADARES, R.F.D.; DETMANN E. Predição de consumo de matéria seca por bovinos de corte em confinamento. **Exigências Nutricionais de Bovinos Puros e Cruzados – BR-CORTE**, 2010.

BELESKY, D.P.; BURNER, D.M.; RUCKLE, J.M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. **Grass Forage Science**, v. 66, p. 370–380, 2011.

BERNDT, A.; BOLAND, T. M.; DEIGHTON, M. H.; GERE, J. I.; GRAINGER, C.; HEGARTY, R. S.; IWAASA, A. D.; KOOLAARD, J. P.; LASSEY, K. R.; LUO, D.; MARTIN, R. J.; MARTIN, C.; MOATE, P. J.; MOLANO, G.; PINARES-PATIÑO, C.; RIBAUX, B. E.; SWAINSON, N. M.; WAGHORN, G. C.; WILLIAMS, S. R. O. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. Lambert, M. G. (Ed.). **New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre**, New Zealand, 2014.

BUDDLE, B.M; DENIS, M.; ATTWOOD, G.T.; ALTERMAN, E.; JANSSEN, P.H.; RONIMUS, R.S.; PINARES-PATIÑO, C.S.; MUETZEL, S.; WEDLOCK, D.N. Strategies to reduce methane emissions from farm ruminants grazing on pasture. **The Veterinary Journal**, v. 188, p. 11-17, 2011.

CARDOSO, A.S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B.J.R.; de CARVALHO I.N.O.; SOARES, L.H.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, 2016.

CARVALHO, P.C.F.; KOZLOSKI, G.V.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; REFFATTI, M.V.; GENRO, T.C.M.; EUCLIDES, V.P.B. Avanços metodológicos na determinação do consumo de ruminantes em pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n.2, p.151-170, 2007.

CLARK, H.; KELLIHER, F.; PINARES-PATIÑO, C. Reducing CH₄ emissions from grazing ruminants in New Zealand: Challenges and opportunities. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 24 (2), p. 295-302, 2011.

COELHO, J.J.; MELLO, A.C.L.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; CUNHA, M.V.; LIRA, M.A. Prediction of the nutritional value of grass species in the semiarid region by repeatability analysis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 53(3), p. 378-385, 2018.

COSTA, M.P.; SCHOENEBOOM, J.C.; OLIVEIRA, S.A.; VINAS, R.S.; DE MEDEIROS, G.A.A Socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1460-1471, 2018.

DEISS, L., MORAES, A.D., PELISSARI, A., SKORA NETO, F., SILVA, V.P.D., ANDREOLLA, V.R.M. Oat growth under different nitrogen doses in eucalyptus alley cropping system in subtropical Brazil. **Ciência Agrônômica** v. 45, p. 1014–1023, 2014.

DE MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S.B.C.; DE ANDRADE, S.E.V.G., KUNRATH, T.R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

EGGLESTON, S., BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T., & TANABE, K. (Eds.). 2006. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (Vol. 5). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.

GERSSSEN-GONDELACH, S.J.; LAUWERIJSSSEN, R.B.; HAVLÍK, P.; HERRERO, M.; VALIN, H.; FAAIJ, A. P.; WICKE, B. Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 240, p. 135-147, 2017.

HEGARTY, R.S.; GOOPY, J.P.; HERD, R.M.; MCCORKELL, B. Cattle selected for lower residual feed intake havereduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, v. 85, p. 1479–1486, 2007.

JOHNSON, K.; HURLEY, M.; WESTBERG, H.; LAMB, B.; ZIMMERMAN, P. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. **Environmental Science & Technology**, v. 28, n. 2, p. 359-362, 1994.

LOPES, L.B.; ECKSTEIN, C.; PINA, D.S.; CARNEVALLI, R.A. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. **Tropical Animal Health Production**, v. 48, p. 755–761, 2016.

LUCHIARI FILHO, A. Pecuária da carne bovina (1a ed.). p. 134, São Paulo, 2000.

MERCADANTE, M.E.Z.; CALIMAN, A.P.M.; CANESIN, R.C.; BONILHA, S.F.M.; BERNDT, A.; FRIGHETTO, R.T.S.; MAGNANI, E.; BRANCO, R.H. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nelore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 44 (7), p. 255-262, 2015.

LUZ, P.A.C., ANDRIGHETTO, C., LUPATINI, G.C., ARANHA, H.S., TRIVELIN, G.A., MATEUS, G.P., SANTOS, C.T., FRANCISCO, C.L., CASTILHOS, A.M., JORGE, A.M. Effect of integrated crop livestock systems in carcass and meat quality of Nelore cattle. **Livestock Science** v. 220, p. 83-92. 2019.

MORAES, A.D.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.D.F.; POLI, C.H.E.C.; BRESSAN, M.; MARTINS, C.E.; VILELA, D. Avaliação de sistemas de produção de leite a pasto que poderão prevalecer nas principais regiões produtoras de leite do país. In Utilização de pastagens em sistemas integrados agricultura/pecuária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 15-16, 2000.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **Proceedings...** International grassland congress. p. 1380-1395, 1952.

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

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE et al. **Nutrient requirements of beef cattle**. National Academies Press, 2016.

NICODEMO, M.L.F., SILVA, P.S., THIAGO, L.R.L.S. Sistemas silvipastoris: introdução de árvores na pecuária do Centro- Oeste brasileiro Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, p. 37 (Documentos/Embrapa Gado de Corte), 2004.

OLIVEIRA, C.C.D., VILLELA, S.D.J., ALMEIDA, R.G., ALVES, F.V., BEHLING-NETO, A., MARTINS, P.G.M.D.A. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Tropical Animal Health Production**. v. 46, p. 167-172, 2014.

OLIVEIRA, P.P.A.; CORTE, R.R.S.; SILVA, S.L.; RODRIGUEZ, P.H.M.; SAKAMOTO, L.S.; PEDROSO, A.F.; TULLIO, R.R.; BERNDT, A. The effect of grazing system intensification on the growth and meat quality of beef cattle in the Brazilian Atlantic Forest biome. **Meat Science**, v. 139, p. 157-161, 2018.

OLIVEIRA, P.P.A. Protocolo recomendado para avaliação do consumo voluntário de animais em pastejo. **Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.

OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L.G.; HALL, J.A.J.; FOLEGATTI MATSUURA, M.; ZANETT ALBERTINI, T.; FERNANDES, F.A.; MORAN, D. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6(5), p. 493-497, 2016.

OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L.G.; HALL, J.J.; MORETTI, A.C.; VELOSO, R.F.; ALEXANDER, P.; CRESPOLINI, M; MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v.153, p. 201-211. 2017.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ; M.J.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 42, v. 573–579, 2007.

PACIULLO, D.S.C., CASTRO, C.R.T., GOMIDE, C.A.M., MAURÍCIO, R.M., PIRES, A.F.A., MÜLER, M.D., XAVIER, D.F., Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock. Science**. v. 141, p. 166–172, 2011.

PANDEY, C.B.; VERMA, S.K.; DAGAR, J.C.; SRIVASTAVA, R.C. Forage production and nitrogen nutrition in three grasses under coconut tree shades in the humid-tropics.

Agroforestry Systems. p. 83 v. 1-12, 2011

PEZZOPANE, J.R.M., BERNARDI, A.C.C., BOSI, C. OLIVEIRA, P.P.A., MARCONATO, M.H., PEDROSO, A.F., ESTEVES, S.N, Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforest Systems**.

v. 93, 39-49, 2019

PINARES-PATIÑO, C.S.; FRANCO, F.E.; MOLANO, G.; KJESTRUP, H.; SANDOVAL, E.; MACLEAN, S.; BATTISTOTTI, M.; KOOLAARD, J.; LAUBACH, J. Feed intake and methane emissions from cattle grazing pasture sprayed with canola oil. **Livestock Science**, v. 184, p. 7-12, 2016.

PONTES, L.S.; BARRO, R.S.; SAVIAN, J.V.; BERNDT, A.; MOLETTA, J.L.; PORIFÍCIO-DA -SILVA, V.; BAYER, C., CARVALHO, P.C.F. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization, **Agricultural Ecosystems and Environment**. v. 253, p. 90-97. 2018.

PRIMAVESI, O; BERNDT, A.; LIMA, M.A.; FRIGHETTO, TOYOKO S.R.; DEMARCHI, J.J.A.A.; PEDREIRA, M.S. Produção de gases de efeito estufa em sistemas agropecuários: bases para inventário de emissão de metano por ruminantes. Cap.8.. In: **Proceedings...** 1, Lima, M.A.; Boddey, R.M.; Alves, B.J.R; Machado, P.L.O.A.V; Urquiaga, S. (Org.). Estoques de C e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária Brasileira. 1ed.Brasília, DF: Embrapa, p. 239-270, 2002.

RAIJ, B.V., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. Recommendations for Fertilization and Liming for the State of São Paulo. **Instituto Agrônômico**, Campinas, 1997.

RUSSELL, J.R.; BISINGER, J.; POWERS, W.J. Grazing system effects methane emissions from cows in southern Iowa pasture. **Animal Industry Report**, v. 662, p. 53, 2016.

SAKAMOTO, L.S. Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore terminados a pasto e cruzados em confinamento. 2018. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) - **Faculdade de Zootecnia e Engenharia de**

Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.
doi:10.11606/T.74.2018.tde-23102018-124307. Acesso em: 05/02/2020

SANTOS, D.C., JÚNIOR, R.G., VILELA, L., MACIEL, G.A., FRANÇA, A.F.S. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agroforest Systems**. v. 266, p. 174-180, 2018.

SOUSA, L.F., MAURICIO, R.M., MOREIRA, G.R., GONCALVES, L.C., BORGES, I., PEREIRA, L.G.R., Nutritional evaluation of "Braquiara" grass in association with "Aroeira" trees in a silvopastoral system. **Agroforest Systems**. v. 79, p. 189–199, 2010.

SOUZA, K.W.; PULROLNIK, K.; JÚNIOR, R.G.; MARCHÃO, R.L.; VILELA, L.; DE CARVALHO, A.M.; MACIEL, G.A.; NETO, S.A.M.; DE OLIVEIRA, A.D. Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para compensação das emissões de gases de efeito estufa. Embrapa Cerrados - Circular Técnica 39 (INFOTECA-E). 2019. Available in: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1110815/1/Circ39.pdf>. Acesso em: 15/02/2020.

VALADARES-FILHO, S.C.; LOPES, A.S.; MACHADO, P.A.S.; CHOZZOTTI, M.L.; AMARAL, H.F.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA-JUNIOR, V.R.; CAPELLE, E.R. **CQBAL4.0**. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos, 2020. Disponível em: www.ufv.br/cqbal. Acesso em: 10/07/2020.

VALENTE, T. N. P.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; CUNHA, M.; QUEIROZ, A. C.; SAMPAIO, C. B. In situ estimation of indigestible compounds contents in cattle feed and feces using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 3, p. 666-675, 2011.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of dairy science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

WANG, Z., GOONEWARDENE, L.A. The Use of MIXED Models in the Analysis of Animal Experiments with Repeated Measures Data. **Canadian Journal of Animal Science**, 84, 1-11, 2004.

WERTH, S. The Biogenic Carbon Cycle and Cattle, 2020. Clear Center – UC Davis. Disponível em: <https://clear.ucdavis.edu/explainers/biogenic-carbon-cycle-and-cattle>. Acesso em:15/07/2020

WESTBERG, H. H.; JOHNSON, K. A.; COSSALMAN, M. W.; MICHAEL, J. J. A SF6 tracer technique: Methane measurement from ruminants. In: USEPA – Evaluating ruminant livestock efficiency projects and programs. **Washington State University, Pullman**, Washington. p. 40. 1998.

3. DESEMPENHO E EMISSÃO DE METANO DE BOVINOS DE CORTE CRIADOS EM DIFERENTES TIPOS DE PASTAGENS NO SUL DA INGLATERRA

3.1. INTRODUÇÃO

Os primeiros indícios da agricultura na área do Reino Unido datam de 6.000 anos atrás, quando os humanos começaram a domesticar plantas e animais nos tempos neolíticos (WOODBRIDGE et al., 2014; MUHAMMED et al., 2018). Atualmente, as pastagens representam mais de dois terços da área agrícola, agrupada em tipos temporários (1,2 milhão de ha), permanentes (6,1 milhões de ha) e pastagens nativas (5,0 milhões de ha) (DEFRA, 2016). Em 2015, as pastagens do Reino Unido comportavam 9,9 e 33,3 milhões de cabeças de bovinos e ovinos, respectivamente. Isso forneceu 15,2 milhões de toneladas de leite de vaca, 0,9 e 0,3 milhões de toneladas de carne bovina e ovina, respectivamente (DEFRA, 2016).

O setor agropecuário contabiliza as emissões provenientes dos animais ruminantes, solos agrícolas, fontes de energia estacionárias a combustão e máquinas agrícolas. Estima-se que tenha sido responsável por 10% das emissões de gases do efeito estufa do Reino Unido em 2017. As emissões de metano (56%) e óxido nitroso (31%) dominam esse setor. As fontes mais significativas aqui são as emissões de metano devido à fermentação entérica dos ruminantes, particularmente bovinos; e emissões de óxido nitroso relacionadas ao uso de fertilizantes em solos agrícolas. A emissão de metano proveniente da digestão dos ruminantes também tem significativo impacto no inventário de emissões de GEE do Reino Unido, representando 10% do total de emissões em CO₂-eq. (DECC, 2016).

De acordo com Hammond et al. (2009), a composição química das plantas poderia explicar 19% da variação no rendimento de metano do gado em pastagens perenes à base de azevém (*Lolium perene*), sugerindo que há um escopo limitado para melhorias via modificação da composição das espécies forrageiras para mitigar as emissões de metano. No entanto, a produção de espécies selecionadas de pastagens pode ser benéfica, uma vez que mudanças na eficiência da conversão alimentar por ruminantes podem melhorar a produção e alterar as emissões de CH₄

por unidade de produção animal, ou seja, g/kg de ganho de peso vivo, reduzindo a intensidade das emissões (WAGHORN et al., 2006).

Trabalhos anteriores com ovinos e bovinos demonstraram emissões significativamente menores por unidade de consumo de matéria seca, quando há o consumo de leguminosas comparado ao pastejo exclusivo de gramíneas (WAGHORN et al., 2002). Além disso, espécies diferentes de forragem produzem quantidades diferentes de metano, como por exemplo o trevo branco (*Trifolium repens*) uma das leguminosas mais comumente encontradas em sistemas de pastejo em consórcio com azevém perene (HAMMOND, et al., 2009). Waghorn e Woodward (2006) relataram menor emissão de CH₄ em ovinos alimentados exclusivamente com trevo branco (14 g/kg CMS), enquanto Hammond et al. (2011) relataram emissão de CH₄ a partir de animais alimentados com azevém na ordem de 22 g/kg de CMS. Enriquez-Hidalgo et al. (2014) observaram uma diminuição na produção de metano por quilograma de consumo de matéria seca (21,7 vs. 18,6 e 24,5 vs. 21,5, respectivamente) quando houve aumentos na inclusão de trevo branco na dieta de bovinos leiteiros.

Portanto, este experimento⁹ teve como objetivo testar a hipótese de que o gado criado em diferentes tipos de pastagem (azevém perene adubado vs. cultivar de alto teor de açúcar do azevém e trevo branco) pode expressar diferente desempenho e emissões de CH₄ ruminal.

⁹ Experimento prévio, pois, o mesmo será repetido no ano corrente (2020), além dos dados apresentados aqui, serão incorporados dados de qualidade da forragem, compostos secundários, pastejo simulado, composição morfológica e produtividade de carcaça, que por questões de cronograma laboratorial e análises, não puderam ser apresentados aqui.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Local e período

As atividades experimentais foram desenvolvidas entre maio e outubro de 2019 no centro de pesquisa Rothamsted Research – North Wyke, Okehampton, Devon, Reino Unido, a 50.7388°N 4.0041°W à altitude de 154 m (Figura 24). Nessa localidade, o clima é do tipo Cfb, na classificação de Köppen-Geiger, isto é, clima oceânico com verões frios e invernos frescos. O projeto foi aprovado pelo Comitê Local de Ética em Experimentação Animal - CEUA e recebeu parecer favorável registrado com protocolo número: FP113/2019.

3.2.2. Rothamsted Research

A Rothamsted Research (RRes) é a instituição de pesquisa agrícola mais antiga do mundo e sua fundação data de 1843, atualmente é um instituto de pesquisa sem fins lucrativos com 4 centros distribuídos pelo sul da Inglaterra, que recebem financiamento principalmente do Conselho de Pesquisa em Biotecnologia e Ciências Biológicas do Reino Unido (BBSRC-UK), também recebendo financiamento de outros órgãos governamentais e iniciativa privada.

A “North Wyke Farm Platform - NWFP” (plataforma agrícola North Wyke) instalada na unidade RRes – North Wyke é uma instalação de pesquisa em grande escala que objetiva estudar o fluxo completo de nutrientes partindo do solo até à alimentação na mesa, com o objetivo claro e distinto de tornar a agricultura mais sustentável. Estabelecida em 2010 no sudoeste da Inglaterra, é uma instalação nacional para pesquisa colaborativa, treinamento e troca de conhecimento em ciências agroambientais. As instalações consistem em três fazendas individuais, com aproximadamente 21 ha cada e subdivididas em cinco bacias hidrográficas, sendo estas equipadas para monitorar as trocas de gases de efeito estufa (CO₂ - CH₄) entre o solo e a atmosfera, precipitação, umidade do solo e características físico-químicas da água (ORR et al., 2016). Sendo recentemente reconhecida pela Organização das

Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) como uma unidade de pesquisa exemplar.

Figura 24 - Mapa do Reino Unido e localização da Rothamsted Research - North Wyke.



Fonte: Google MAPS (2020)

3.2.3. Animais e tratamentos

Foram utilizados 60 bovinos (raça estabilizada composta por Hereford, Red Angus, Simental e Gelbvieh) que ao início do período experimental pesavam 476 ± 51 kg. Da totalidade, 30 animais (15 novilhos e 15 novilhas) foram distribuídos em cada tratamento, correspondente ao tipo de pastagem:

- 1) **Consoiciada (C)**: Azevém perene (*Lolium perene* cv. AberMagic), com alto teor de açúcares e trevo branco (*Trifolium repens*) na proporção de cobertura do solo (70:30 respectivamente).
- 2) **Adubada (A)**: Azevém perene (*Lolium perene*) fertilizado com 200 kg N/ano (verão).

As áreas de pastagem possuíam 6,4 ha (Figura 25), e para monitorar o ganho de peso diário (GMD), os animais foram pesados sem jejum, seguindo a rotina de manejo do instituto RREs, no início, no final do experimento e a cada 30 dias, onde foram avaliados 5 períodos.

A produção em massa de forragem foi determinada pelo método do disco, a cada quinze dias de frequência e 20 pontos por medição. A massa de forragem média durante os cinco ciclos avaliados foi de 2.401 ± 237 kg na pastagem consorciada e 2.944 ± 1.127 kg de MS/ha na pastagem adubada.

Figura 25 - Área de pastagem consorciada (C) e área de pastagem adubada (A).



Fonte: GOOGLE EARTH PRO (2020)

A ingestão de matéria seca foi estimada por meio do modelo de predição proposto por Anele et al. (2014):

$$\text{CMS} = 0,01673 \times \text{PV final} + 8,123 \times \text{ELm} - 3,0042 \times \text{ELm}^2 - 3,6262$$

Que leva em consideração, o peso vivo final (PV final) do período avaliado e a energia líquida de manutenção (ELm), este último foi baseado no valor $0,077\text{Mcal/PCVz}^{0,75}$ (peso corporal vazio), proposto pelo NRC (2016) para animais desta categoria.

3.2.4. Avaliação da emissão de metano entérico

Os equipamentos para coleta de metano entérico (Figura 26) foram produzidos anteriormente ao início das coletas, seguindo o “Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants” (BERNDT et al., 2014).

Figura 26 – Canga e cabresto montados para a coleta de CH₄ segundo a metodologia do gás traçador SF₆.



Fonte: Própria autoria (2019)

Antes do período de coleta (7 dias), 8 animais de cada tratamento experimental, foram equipados com cabrestos e cangas de adaptação, para permitir que os animais se adaptassem aos dispositivos, de maneira a facilitar o manejo durante o período de amostragem. No mesmo dia, tubos de permeação preenchidos com quantidades conhecidas de SF₆ e taxas de liberação ($2.387,2 \pm 141,9$ ng/min) foram administrados por via oral com aplicador de bolus, de acordo com procedimento padronizado (LASSEY et al., 2014).

Durante o período de amostragem (5 a 7 dias, com o objetivo de obter amostras representativas por pelo menos 5 dias), os animais foram equipados com cabrestos de coleta acoplados a cangas de PVC vacuolizadas, construídos e calibrados para preencher até $50 \pm 5\%$ do volume do dispositivo de coleta (canga) em 24 horas.

Diariamente os animais foram trazidos de suas áreas experimentais para a troca da canga. A pressão nos recipientes foi medida imediatamente após o período de coleta de 24 horas para avaliar sua qualidade. Quando o vácuo final estava entre $50 \pm 5\%$ do vácuo inicial, as amostras foram consideradas ideais, valores acima ou abaixo indicaram possíveis bloqueios ou vazamentos, respectivamente. Nesse caso, em qualquer uma dessas situações, o cabresto e a canga foram substituídos. Após a substituição por uma nova canga vacuolizada, os animais retornaram aos seus respectivos tratamentos. Ao mesmo tempo e usando o mesmo equipamento, foram coletadas durante 5 dias, amostras de ar ambiente (brancos) de cada área experimental, para definir a linha base de concentração do CH_4 e SF_6 .

As proporções de mistura de CH_4 e SF_6 nas amostras de respiração e fundo foram então combinadas para fornecer uma estimativa da taxa de emissão de CH_4 durante o período de coleta de respiração para cada animal. As amostras foram diluídas a aproximadamente 10% acima da pressão atmosférica com nitrogênio ultrapuro (5.0) antes da injeção no GC, seguindo o método descrito por Johnson e Johnson (1995).

Cada canga foi analisada para concentrações de CH_4 e SF_6 utilizando dois cromatógrafos para análise de gases (CG), um equipado com um sensor de ECD (GC-8A, Shimadzu Corporation, Japão) para análise do SF_6 , nesta rotina, as amostras de gás foram injetadas diretamente da canga para o cromatógrafo onde a temperatura da coluna (25 cm – 1/8") era de 80°C e do forno do equipamento de 65°C . Cada amostra foi analisada em duplicata demandando 6 minutos por injeção e análise.

Para a análise de CH_4 , as amostras de gás foram transferidas para vials vacuolizados de 20 ml e transportados para o laboratório, onde, a concentração de CH_4 foi determinada por cromatografia gasosa (cromatógrafo a gás Perkin Elmer Clarus 500 equipado com um amostrador automático headspace Turbomatrix 110 e um detector de ionização de chama, FID) com um metanizador ajustado a 350°C para análise de CO_2 e CH_4 . A separação foi alcançada por uma coluna capilar de megaboro Perkin Elmer Elite-PLOT de 30 m de comprimento e 0,53 mm i.d. mantido a 35°C e N_2 foi usado como gás de arraste. As curvas de calibração foram estabelecidas utilizando gás padrão certificado pela empresa "BOC" com as concentrações de CH_4 , em ppm (2,05; 5,18; 10,18; 50,1 e 101,2), e SF_6 , em ppt (24; 33,7; 253,3 e 2834).

As emissões de CH₄ foram calculadas usando a razão CH₄:SF₆ no recipiente de amostragem, com cada um dos gases corrigidos para as concentrações de fundo, juntamente com a taxa de permeação predeterminada das cápsulas SF₆. Na equação a seguir, M indica a amostra medida no animal e BG indica a concentração do ambiente:

$$RCH_4 = RSF_6 \times \frac{(CH_4)_M - (CH_4)_{BG}}{(SF_6)_M - (SF_6)_{BG}} \times \left(\frac{MWCH_4}{MWSF_6} \right) \times 1000$$

Além disso, RCH₄ (g / d) é a taxa de emissão ruminal de CH₄ calculada em g / d; RSF₆ representa a taxa de liberação medida a partir da cápsula SF₆ (mg / d); MWCH₄ é o peso molecular de CH₄ (16) e MWSF₆ é o peso molecular de SF₆ (146). As concentrações de CH₄ são expressas em ppm e as concentrações de SF₆ em ppt. O fator 1000 converte as unidades para que RCH₄ seja expresso em g / d. A emissão de metano foi expressa nas unidades: gramas por dia (g/dia), quilos de metano por quilo de ganho médio diário (kg/kg GMD), gramas de metano por quilo de peso vivo (g/kg PV). Para o cálculo da relação percentual entre a energia bruta ingerida e a energia bruta perdida na forma de metano Ym% (Methane Yield), foi calculada uma média de valores de EB disponíveis na literatura (HAMMOND et al., 2011; HAMMOND et al., 2013) para trevo braço e azevém.

3.2.5. Forma de análise dos resultados

Os resultados obtidos foram estatisticamente analisados utilizando o SAS 9.4 (SAS Inst, Inc., Cary, NC), após verificada a normalidade dos resíduos pelo teste Shapiro-Wilk (PROC UNIVARIATE), os dados foram analisados seguindo o procedimento para modelos mistos (PROC MIXED) e as estações foram consideradas como variáveis repetidas no tempo (split-plot in time). Entre as 15 estruturas de covariância testadas, a escolhida foi baseada no valor mais baixo dos critérios de informação de Akaike corrigido (AICC) (WANG; GOONEWARDENE, 2004).

O modelo incluiu como efeitos fixos os efeitos de tratamento (duas diferentes pastagens), período e interação entre tratamento e período. O efeito de sexo considerado como efeito aleatório. O peso vivo inicial foi utilizado como covariável para a análise de todas as variáveis, exceto peso inicial (PI), peso final (PF), consumo de matéria seca (CMS) e a emissão de metano por kg de peso vivo ($\text{kgCH}_4/\text{kgPV}$). A matriz que melhor se ajustou aos dados foi a estrutura de covariância autoregressiva. Os efeitos foram considerados significativos quando $p < 0,05$. Todas as médias são apresentadas como médias corrigidas pela metodologia dos quadrados mínimos e as médias foram separadas pelo procedimento LSD (opção PDIFF do SAS).

3.3.RESULTADOS

Ao início e ao final do período experimental, os animais não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos em relação ao peso vivo. Da mesma maneira, o consumo de matéria seca, o ganho médio diário e o ganho de peso vivo por hectare não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 11).

Tabela 11 - Pesos inicial e final, consumo de matéria seca e ganho médio diário de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada

| Variáveis | Tratamentos | | | |
|--------------|-------------|---------|-------|---------|
| | ConSORCIADA | ADUBADA | EPM | p-value |
| PI | 463,5 | 449,9 | 16,13 | 0,3509 |
| PF | 583,0 | 585,0 | 9,51 | 0,8757 |
| CMS (kg/dia) | 10,3 | 10,2 | 0,13 | 0,7659 |
| GMD (kg/dia) | 0,80 | 0,85 | 0,07 | 0,2855 |
| GPV (ha/dia) | 3,18 | 3,69 | 1,14 | 0,7578 |

PI: Peso inicial; PF: Peso final; CMS: Consumo de matéria seca; GMD: Ganho médio diário; EPM: erro padrão da média.

Em relação a emissão de metano entérico, expressa em g/dia ou em relação ao ganho médio diário (kgCH₄/kgGMD) e ao peso vivo (kgCH₄/kgPV), não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 12).

Tabela 12 - Emissão de CH₄ em g/dia, e em relação ao ganho médio diário e ao peso vivo de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada

| CH ₄ | Tratamentos | | | |
|-----------------|-------------|---------|-------|---------|
| | ConSORCIADA | ADUBADA | EPM | p-value |
| g/dia | 168,5 | 199,6 | 10,61 | 0,0612 |
| kg/kgGMD | 0,123 | 0,239 | 0,04 | 0,0684 |
| kg/kgPV | 0,35 | 0,36 | 0,03 | 0,7357 |

GMD: Ganho médio diário; PV: Peso vivo; EPM: erro padrão da média.

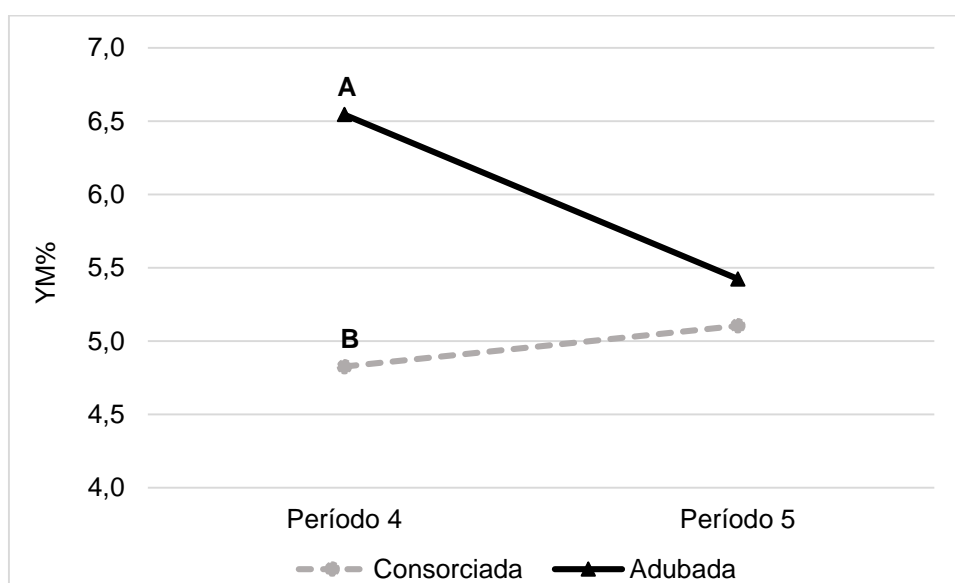
A energia bruta (EB) ingerida, convertida e emitida em forma de CH₄ (Tabela 13; Figura 27), apresentou efeito da interação tratamento*tempo, sendo que, no tempo 4 os animais que pastejavam o tratamento adubado, emitiram mais CH₄ em relação ao montante de energia bruta ingerida (Ym%).

Tabela 13 - Fator de conversão do CH₄ Ym% de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada

| Efeitos fixos | | Variável |
|------------------|-------|------------------------------------|
| Tratamento | Tempo | YM% |
| | | Efeitos Principais |
| Consórcio | | 5,0 |
| Adubado | | 6,0 |
| | 4 | 5,7 |
| | 5 | 5,3 |
| | | Médias |
| Média | | 5,5 |
| EPM | | 0,35 |
| | | Probabilidades Estatísticas |
| Tratamento | | 0,0388 |
| Tempo | | 0,0853 |
| Tratamento*Tempo | | 0,0068 |

*Ym: Fator de conversão do CH₄ (% da EB ingerida convertida e emitida em forma de CH₄);

Figura 27 - Fator de conversão do CH₄ Ym%, nos diferentes períodos de bovinos de corte criados em pastagem adubada e consorciada



Ym: Fator de conversão do CH₄ (% da EB ingerida convertida e emitida em forma de CH₄)

3.4. DISCUSSÃO

Os animais do presente experimento, pertenciam a mesma raça e eram homogêneos quanto aos seus pesos ao início do período experimental. A ausência de diferença no consumo e ganho de peso diário podem explicar que esse mesmo padrão foi observado para o peso final. Não são abundantes os trabalhos disponíveis que comparam bovinos de corte criados em pastagens de azevém ou de azevém consorciadas com trevo branco, em geral são mais comuns estudos que avaliaram pequenos ruminantes ou bovinos de leite nesses tipos de pastagem. Em um experimento investigando se ovelhas alimentadas com trevo branco fresco teriam uma menor produção de CH₄ em comparação com ovelhas alimentadas com azevém perene fresco em dois períodos, Hammond et al. (2011) encontraram diferenças significativas na emissão e consumo de matéria seca no período 1, mas esses resultados não foram observados nos períodos subsequentes, como também na média geral dos tratamentos. No presente experimento o mesmo foi observado em relação as médias gerais dessas duas variáveis.

Lee et al. (2004) conduziram um experimento para determinar os efeitos de níveis de inclusão (0; 15; 30; 60%) do trevo branco (*Trifolium repens*) na dieta de vacas alimentadas com azevém (*Lolium perene*), em relação a emissão de CH₄ e desempenho produtivo animal, identificando diferença entre os tratamentos, em relação as variáveis CMS, produção de leite e produção de CH₄ (g/dia). Ao contrário do presente trabalho, que não observou diferenças no desempenho produtivo dos animais ou nas emissões de CH₄.

Enriquez-Hidalgo et al. (2014) conduziram um experimento para investigar em três diferentes períodos, o efeito da inclusão do trevo branco em pastagem de azevém (50:50 cvs. AstonEnergy e Tyrella), em comparação ao mesmo tipo de pastagem que recebeu alta fertilização com nitrogênio sobre a produtividade das vacas leiteiras e de metano entérico (CH₄), não identificando efeito nos diferentes períodos para CMS e emissão de CH₄ em g/dia, como observado no presente trabalho, porém, observaram diferença entre tratamentos quando a emissão foi expressada junto ao CMS, sendo que o tratamento com a inclusão de trevo branco emitiu menos metano por kg de MS ingerida.

Diferentes estudos compararam as emissões entéricas de CH₄ obtidas pela técnica do gás traçador SF₆ com os resultados obtidos dos mesmos animais em câmaras respirométricas e observaram variações médias nas emissões de 7,5% (HAMMOND, et al., 2016). Como tal, a técnica fornece maior variabilidade nos resultados, causando a necessidade de aumentar o número de animais necessários para identificar as diferenças de tratamento (STORM et al., 2012). Oito animais medidos por tratamento utilizando a técnica SF₆, como neste experimento, não são um número pequeno, mas podem não ter constituído animais suficientes para detectar diferenças na produção de metano entre os tratamentos. De maneira geral, a média final observada (183,6 g/dia) está abaixo do valor obtido por meio da metodologia sugerida pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (DONG et al., 2006), para animais dessa categoria, que é de: 222,8 g/dia. Essa diferença numérica demonstra a importância e a demanda da medida das emissões de CH₄ entérico, com esta categoria de animais, nos sistemas de pastagem avaliados. O conhecimento acerca do valor real emitido, se faz importante, por ter impacto direto nas emissões expressas nos inventários nacionais de efeito estufa, e na tomada de decisões para o desenvolvimento de ações mitigatórias.

3.5. CONCLUSÃO

Apesar dos resultados preliminares aqui apresentados não demonstrarem diferenças significativas entre os tratamentos, as emissões de CH₄, em específico em g/dia e em relação ao ganho médio diário, demonstraram numericamente uma tendência de menor emissão para o tratamento consorciado. Esse fato, apoia o argumento da repetição do presente trabalho, de maneira a aumentar o número de animais experimentais e incorporar às análises, dados de produção de massa e qualidade das forragens; além da produtividade de carcaça.

3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma comparação entre os sistemas de produção de bovinos de corte em pastagem estudados no experimento 1, realizado no Sudeste do Brasil, com o experimento 2, realizado no Sul da Inglaterra, deve ser criteriosa e envolver o maior número de trabalhos disponíveis. Mas ao olharmos para o fator de conversão de CH_4 ($Y_m\%$), numericamente notamos uma diferença, e que as gramíneas de ciclo C3 demonstram ser melhor aproveitadas pelos bovinos, já que menos EB é perdida em forma de CH_4 entérico.

As possibilidades de produção, ganho, sustentabilidade ambiental e econômica dentro dos sistemas de criação de bovinos de corte em pastagem, é definitivamente de grande amplitude. No momento, são necessárias ações no âmbito governamental que apoiem a produção sustentável, e que a comunidade científica direcione esforços para que haja uma mudança na discussão a respeito das emissões ligadas a atividade Agropecuária. De forma a desconstruir a imagem de atividade poluidora da atmosfera e responsável por grande parte do efeito estufa, e demonstrar que na verdade é a maior aliada no sequestro das emissões de todos os setores da economia global.

3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANELE, U. Y.; DOMBY, E. M.; GALYEAN, M. L. Predicting dry matter intake by growing and finishing beef cattle: Evaluation of current methods and equation development. **Journal of animal science**, v. 92, n. 6, p. 2660-2667, 2014.

BERNDT, A.; BOLAND, T. M.; DEIGHTON, M. H.; GERE, J. I.; GRAINGER, C.; HEGARTY, R. S.; IWAASA, A. D.; KOOLAARD, J. P.; LASSEY, K. R.; LUO, D.; MARTIN, R. J.; MARTIN, C.; MOATE, P. J.; MOLANO, G.; PINARES-PATIÑO, C.; RIBAUX, B. E.; SWAINSON, N. M.; WAGHORN, G. C.; WILLIAMS, S. R. O. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. Lambert, M. G. (Ed.). **New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre**, New Zealand, 2014.

DECC, U.K. Final UK Greenhouse gas emissions national statistics: 1990–2014 (2014 UK ghg: final figures—data tables). 2016.

DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs. Agriculture in the United Kingdom. London/UK, 2016.

DONG, H.; MANGINO, J.; MCALLISTER, T.A.; HATFIELD, J.L.; JOHNSON, D.E.; LASSEY, K.R.; LIMA, M.A.; Romanovskaya, A. Emissions from livestock and manure management. In **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**; PENMAN, J., GYTARSKY, M., HIRAIISHI, T., IRVING, W., KRUG, T., Eds.; Intergovernmental Panel on Climate Change—IPCC: Geneva, Switzerland, 2006; p. 1–89.

ENRIQUEZ-HIDALGO, D.D.; GILLILAND, T.; DEIGHTON, M.H.; O'DONOVAN, M.; HENNESSY, D. Milk production and enteric methane emissions by dairy cows grazing fertilized perennial ryegrass pasture with or without inclusion of white clover. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1400-1412, 2014.

HAMMOND, K.J.; MUETZEL, S.; WAGHORN, G.C.; PINARES-PATINO, C.S.; BURKE, J.L.; HOSKIN, S.O. The variation in methane emissions from sheep and cattle is not explained by the chemical composition of ryegrass. In: **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**. v. 69, p. 174–178, 2009.

HAMMOND, K.J.; HOSKIN, S.O.; BURKE, J.L.; WAGHORN, G.C.; KOOLARD, J.P.; MUETZEL, S. Effect of feeding fresh white clover (*Trifolium repens*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on enteric methane emissions from sheep. **Animal Feed Science and Technology**. v. 166, p. 398-404, 2011.

HAMMOND, K.J.; CROMPTON, L.A.; BANNINK, A.; DIJKSTRA, J.; YÁÑEZ-RUIZ, D.R.; O'KIELY, P.; KEBREAB, E.; EUGÈNE, M.A.; YU, Z.; SHINGFIELD, K.J. Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**. v. 219, p. 13–30, 2016.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**. v. 73, p. 2483–2492, 1995.

LASSEY, K.R.; MOATE, P.J.; WILLIAMS, S.R.O.; DEIGHTON, M.H.; HEGARTY, R.S.; BERNDT, A.; IWAASA, A.D. Permeation tubes: The source of SF₆. In: Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. M. G. Lambert, ed. New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre, New Zealand 27-48, 2014.

LEE, J.M.; WOODWARD, S.L.; WAGHORN, G.C.; CLARK, D.A. Methane emissions by dairy cows fed increasing proportions of white clover (*Trifolium repens*) in pasture. In: **Proceedings of the New Zealand Grassland Association** v. 66, p. 151-155, 2004.

MUHAMMED, S.E.; COLEMAN, K.; WU, L.; BELL, V.A.; DAVIES, J.A.; QUINTON, J.N.; CARNELL, E.J.; TOMLINSON, S.J.; DORE, A.J.; DRAGOSITS, U.; NADEN, P.S.; GLENDINING, M.J.; TIPPINGS, E.; NADEN, P. S. Impact of two centuries of intensive agriculture on soil carbon, nitrogen and phosphorus cycling in the UK. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1486-1504, 2018.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE et al. **Nutrient requirements of beef cattle**. National Academies Press, 2016.

ORR, R.J.; MURRAY, P.J.; EYLES, C.J.; BLACKWELL, M.S.A.; CARDENAS, L. M.; COLLINS, A.L.; DUNGAIT, J.A.J.; GOULDING, K.W.T.; GRIFFITH, B.A.; GURR, S.J.; HARRIS, P.; HAWKINS, J.M.B.; MISSELBROOK, T.H.; RAWLINGS, C.; SHEPHERD, A.; SINT, H.; TAKAHASHI, T.; TOZER, K.N.; WHITMORE, A.P.; WU, L.; LEE, M.R.F.

The North Wyke Farm Platform: effect of temperate grassland farming systems on soil moisture contents, runoff and associated water quality dynamics. **European journal of soil science**, v. 67(4), p. 374-385, 2016.

STORM, I.M.L.D.; HELLWING, A.L.F.; NIELSEN, N.I.; MADSEN, J. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. **Animal**. v. 2, p. 160–183, 2012.

WAGHORN, G.C.; TAVENDALE, M.H.; WOODFIELD, D.R. Methanogenesis from forages fed to sheep. In: **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**. v. 64 p. 167-171, 2002.

WAGHORN, G.C.; WOODWARD, S.L. Ruminant contributions to methane and global warming a New Zealand perspective. In: BHATTI, J.; LAL, R.; APPS, M.; PRICE, M. (Eds.), **Climate Change and Managed Ecosystems**. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA, p. 233–260, 2006.

WANG, Z., GOONEWARDENE, L.A. The Use of MIXED Models in the Analysis of Animal Experiments with Repeated Measures Data. **Canadian Journal of Animal Science**, 84, 1-11, 2004.

WOODBIDGE, J.; FYFE, R.M.; ROBERTS, N.; DOWNEY, S.; EDINBOROUGH, K.; SHENNAN, S. The impact of the Neolithic agricultural transition in Britain: a comparison of pollenbased land-cover and archaeological ¹⁴C date-inferred population change. **Journal of Archaeological Science**. v. 51, p. 216–224, 2014.