



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA**  
**CURSO DE ZOOTECNIA**

**FRANCISCO JANILO SOUSA SILVA**

**PROPOSTAS DE SELEÇÃO PARA REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE GASES DE**  
**EFEITO ESTUFA EM BOVINOS DE CORTE**

**FORTALEZA**

**2023**

FRANCISCO JANILO SOUSA SILVA

PROPOSTAS DE SELEÇÃO PARA REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE GASES DE EFEITO  
ESTUFA EM BOVINOS DE CORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Pinheiro da Silva

Fortaleza

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S58p Silva, Francisco Janilo Sousa.  
Propostas de seleção para redução da produção de gases de efeito estufa em bovinos de corte / Francisco Janilo Sousa Silva. – 2023.  
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Zootecnia, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Luciano Pinheiro da Silva.

1. Avaliação do ciclo de vida. 2. Herdabilidade. 3. Metano. 4. Produtividade. 5. Sustentabilidade. I. Título.  
CDD 636.08

---

FRANCISCO JANILO SOUSA SILVA

PROPOSTAS DE SELEÇÃO PARA REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE GASES DE  
EFEITOESTUFA EM BOVINOS DE CORTE

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação  
em Zootecnia do Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Zootecnia.

Aprovado em 17/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Luciano Pinheiro da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Caio Julio Lima Herbster  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Francislene Silveira Sucupira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha família e a todos que fizeram parte  
dessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pois com fé e perseverança consegui forças para continuar nessa etapa de minha vida e alcançar os meus objetivos almejados.

À Universidade Federal do Ceará, por me dar todo o suporte e conhecimento necessário para a minha graduação.

Aos meus pais, Elizabete Barbosa de Sousa e Francisco Genival Sousa Silva, que me apoiaram nessa longa jornada difícil e que estiveram sempre ao meu lado durante toda a minha vida.

Ao meu irmão Jackson e às minhas irmãs Jamili e Janaína, por terem me ajudado nos momentos de dificuldades que enfrentei durante esse percurso.

À Pró-reitoria de Assistência Estudantil que sempre deu suporte e condições necessárias para que eu pudesse continuar a minha graduação, e que estar sempre auxiliando aqueles que necessitam de algo para continuar estudando.

Ao programa residência universitária, do qual tive o prazer de participar e onde fiz novas amizades que me proporcionaram momentos marcantes e de boas lembranças. Além de ser a minha residência temporária, o programa ajudou bastante durante toda a graduação, oferecendo todos os recursos necessários para um aluno em situação de vulnerabilidade socioeconômica.

Ao Departamento de Zootecnia e a todo corpo docente, que contribuíram para adquirir novos conhecimentos e que ajudaram na minha formação como pessoa e profissional. Ao meu orientador de trabalho de conclusão, Professor Luciano Pinheiro que se disponibilizou para essa etapa final de conclusão de curso e por estar sempre disponível quando precisei.

À coordenação e secretaria do curso de zootecnia, em especial a Clecio Bezerra, que sempre esteve me orientando nas atividades de estágios e de formação acadêmica, além de estar sempre divulgando ótimas oportunidades para formação profissional.

Aos grupos de estudos GRECO, NUPEC e GEPNUT dos quais tive o prazer de participar, contribuindo com algo e proporcionando algum retorno seja aquisição de conhecimento ou pessoal.

Agradecer também em especial aos meus amigos Fernando Henrique, Joabe Andrade, Anderson Luiz, João Paulo, Alex Bezerra, Lucas Macário, Handerson Moura, Vinicius Bezerra, Wellington Lobo, Paulo Neto, Rodrigo Brasileiro, Igor Vieira, Atila Alves,

Caio Júlio e a todos que não foram citados, mas que foram importantes para mim nessa caminhada

A todos os meus amigos/colegas que fiz durante a minha graduação e que já faziam parte do meu ciclo de amizade, sem essas pessoas que fazem parte não conseguiria atingir os meus objetivos.

## RESUMO

Seleção para redução de produção de gases de efeito estufa em bovinos de corte é uma estratégia utilizada atualmente para tornar a produção eficiente e sustentável. A pecuária, principalmente a produção de bovinos de corte, é um dos principais emissores desses gases poluentes, como dióxido de carbono, óxido nitroso e gás metano, este último um dos mais produzidos e que geram um grande impacto na sustentabilidade dessa cadeia. A presente revisão bibliográfica tem como principal objetivo o levantamento de informações e dados de como a seleção, seja indiretamente por características de desempenho e reprodutivas ou diretamente pela produção de gases, podem impactar na mitigação de gases de efeito estufa produzidos, para isso, foi consultada literatura especializada sobre o assunto abordado. A seleção de características de interesse zootécnico, que apresentem valores altos de herdabilidade, tanto para características produtivas ou paralelamente para reduzir essas emissões, têm sido exploradas em vários estudos relacionados ao tema. Conclui-se que são necessários estudos utilizando metodologias que colem informações necessárias para a seleção de tais parâmetros, como técnicas de mensuração de metano ou a avaliação de ciclo de vida que possa avaliar essas características que apresentem resultados para a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas de produção de bovinos de corte.

Palavras-chave: avaliação do ciclo de vida; herdabilidade; metano; produtividade; sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

Selection to reduce greenhouse gas production in beef cattle is a strategy currently used to make production efficient and sustainable. Livestock, especially the production of beef cattle, is one of the main emitters of these polluting gases, such as carbon dioxide, nitrous oxide and methane gas, the latter one of the most produced and that generate a great impact on the sustainability of this chain. This literature review has as its main objective the collection of information and data on how selection, either indirectly by performance and reproductive characteristics or directly by the production of gases, can impact on the mitigation of greenhouse gases produced, for this, specialized literature was used to review the subject addressed. The selection of characteristics of zootechnical interest, which present high values of heritability, both for productive traits or in parallel to reduce these emissions, have been explored in several studies related to the subject. Thus, studies are needed using methodologies that collect information necessary for the selection of such parameters, such as methane measurement techniques or life cycle assessment that can evaluate these characteristics that present results for the economic and environmental sustainability of beef cattle production systems.

**Keywords:** heritability; life cycle assessment; methane; productivity; sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Câmara respirométrica utilizada para bovinos.....	20
Figura 2 -	Bovinos Nelore em coleta de dados individuais de emissão de CH <sub>4</sub> entérico utilizando a técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> ).....	21
Figura 3 -	Vaca utilizando máscara que mensura as mudanças na concentração de CH <sub>4</sub> exalado.....	22
Figura 4 -	Câmara de cabeça para amostragens pontuais (GreenFeed®).....	23
Figura 5	Detector portátil de metano a laser.....	24
Figura 6 -	Etapas de uma avaliação de ciclo de vida.....	26
Figura 7 -	Benefícios do aumento da eficiência da pecuária de corte.....	28
Figura 8 -	Impacto ambiental gerado pela redução na fertilidade do rebanho.....	36

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resultados de emissões de gases de efeito estufa em 2020, por setor, por unidade em milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq..... 17
- Tabela 2 - Valores de herdabilidade ( $h^2$ ) e desvio padrão fenotípico (Dp) para as características de consumo alimentar residual (CAR), ingestão de matéria seca (IMS), peso aos 210 dias (P210), peso aos 365 dias (P365), peso aos 550 dias (P550), ganho médio diário (GMD), idade ao primeiro parto (IPP), longevidade (LV), rendimento de carcaça (RC) e produção de metano (PCH<sub>4</sub>).....39
- Tabela 3 - Ganho genético predito para seleção direta e indireta para produção de GEE, das características, produção de metano (PDCH<sub>4</sub>), consumo alimentar residual (CAR), ingestão de matéria seca (IMS),longevidade (LV), ganho médio diário (GMD) e peso aos 365 dias (P365), utilizando correlação genética ( $r_g$ ) herdabilidade ( $h^2$ ) e Intensidade de seleção (i).....41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ACV	Avaliação do ciclo de vida
AICV	Avaliação de impacto do ciclo de vida
ALS	Pastagem de alta taxa de lotação de sequeiro
CAR	Consumo alimentar residual
CH <sub>4</sub>	Gás metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CMS	Consumo de matéria seca
Dp	Desvio padrão
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
GEE	Gases de efeito estufa
GMD	Ganho médio diário
IAL	Pastagem irrigada com alta taxa de lotação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Análise do inventário do ciclo de vida
IMS	Ingestão de matéria seca
IPP	Intervalo ao primeiro parto
IP	Intervalo de partos
LV	Longevidade
Mcal	Megacalorias
MCTI	Ministerio da Ciencia, Tecnologia e Informação
MLS	Pastagem de alta taxa de lotação de sequeiro
PCH <sub>4</sub>	Produção de metano
PIB	Produto Interno Bruto
PS	Terminação a pasto com suplementação
PSC	Suplementação e terminação em confinamento
P210	Peso aos 210 dias
P365	Peso aos 365 dias
P550	Peso aos 550 dias

RC	Rendimento de carcaça
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre
VGE	Valores geneticos estimados

## LISTA DE SÍMBOLOS

d	Dias
Eq	Equivalente
Gg	Gigagramas
g	Gramas
ha	Hectare
$h^2$	Herdabilidade
i	Intensidade de seleção
kg	Quilograma
$r_g$	Correlação genética
$\Delta G$	Ganho genético
%	Porcentagem
t	Toneladas
®	Marca registrada comercial

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	17
3	MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DE GEE.....	19
3.1	Câmara respirométrica.....	19
3.2	Técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre .....	20
3.3	Método do capuz ( <i>Face mask system</i> ).....	22
3.4	Câmara de cabeça para amostragens pontuais (GreenFeed®).....	23
3.5	Detector portátil de metano a laser .....	24
3.6	Produção de gases <i>In Vitro</i> .....	25
3.7	Avaliação ou Análise do ciclo de vida .....	25
4	SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PARA MITIGAÇÃO DE GEE.....	28
4.1	Eficiência alimentar e consumo de alimento residual (CAR).....	30
4.2	Ganho médio diário (GMD) .....	31
4.3	Rendimento de carcaça .....	32
4.4	Intervalo de partos .....	33
4.5	Idade ao Primeiro Parto .....	33
4.6	Parto duplo ou gemelar .....	34
4.7	Longevidade .....	35
4.8	Taxa de sobrevivência de bezerros .....	37
4.9	Baixa produção de CH <sub>4</sub> .....	37
5	PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS USADAS NA MITIGAÇÃO DE GEE.....	39
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos principais setores dentro da economia brasileira, e que tem como destaques a agricultura e a pecuária. O Brasil é um grande produtor de carne bovina, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE; 2023) estima que o país possua aproximadamente cerca de 224.602.2012 cabeças de bovinos em todo território nacional. Ainda segundo o IBGE, o país produziu cerca de 7.973.253 de toneladas (t) de carcaças em 2022, destinando boa parte desta produção para o mercado internacional. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC; 2023) foram exportadas no ano de 2022, cerca de 2.264.180 t de carcaças.

O sistema de produção predominante no Brasil é o de produção a pasto, devido alguns fatores como baixo custo de produção e facilidade de manejo, que podem oferecer melhores condições de sanidade e conforto animal, sendo uma menor parte em sistemas de confinamento (BRUNES; COUTO, 2017). De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2021), a área de pastagem total no Brasil é de 159 milhões de hectares (ha), dos quais 66 milhões estão em estado de degradação intermediária e 35 milhões em situação de degradação severa, o que interfere no potencial de produção, gerando também maiores emissões de gases de efeitos estufa (GEE) por quilograma (kg) de carne produzida. Em contrapartida, quando bem manejadas as gramíneas e os animais possuem maior eficiência produtiva, fazendo com que o sistema funcione como agente mitigador de GEE (WANG, 2015).

A cada ano o setor agropecuário brasileiro tem se preocupado em produzir com mais sustentabilidade e menor impacto ambiental, tentando reduzir as emissões de GEE e aumentar a eficiência de uso da terra. Segundo o Sistema de estimativa de emissões e remoções de GEE (SEEG; 2023), para o setor agropecuário foram contabilizados cerca de 590.425.221 t de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq) em 2021.

Por serem ruminantes, os bovinos tendem a emitir uma boa parte desses GEE, como por exemplo o metano (CH<sub>4</sub>). A produção de CH<sub>4</sub> entérico pelos bovinos é dependente principalmente do tipo e do nível de ingestão da dieta, tamanho e idade (PEREIRA; PEDREIRA, 2016). A fermentação entérica foi a mais representativa dentre as emissões de GEE pela pecuária, contribuindo com cerca de 57% do total das emissões no ano de 2020, totalizando 12.958,0 Gigagramas (Gg) de CH<sub>4</sub> (MCTI, 2022). As emissões geradas pela fermentação entérica de gado bovino são as mais que contribuem dentre as espécies exploradas pelo homem, representando 96,8% dessas emissões, e dentro deste percentual a

bovinocultura de corte foi responsável por cerca de 88,4% no ano de 2020 (MCTI, 2022). Outros gases gerados pela pecuária que causam impacto no aquecimento global são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), esses advindos de outras fontes ou sistemas de produção que fazem parte deste setor.

A bovinocultura de corte tem evoluído na mitigação de GEE, buscando através do melhoramento genético de bovinos aprimorar o desempenho zootécnico destes animais e melhorar a sustentabilidade do sistema, adotando novos critérios de seleção, como por exemplo, a seleção de características voltadas à nutrição, reprodução e desempenho. Além dessas características, a seleção de animais que produzem menores quantidades de CH<sub>4</sub>, tem sido utilizado como critério de seleção para reduzir a emissão de CH<sub>4</sub>.

Identificar os principais fatores causadores e o impacto gerado por esses gases dentro da pecuária de corte é um dos principais desafios. Para isso, é necessário lançar mão de métodos que sejam capazes de mensurá-los e identificá-los. Os métodos podem ser classificados como diretos ou indiretos. Os métodos diretos estão relacionados à mensuração direta do gás de efeito estufa, como a mensuração de CH<sub>4</sub> entérico produzido por bovinos. Essa metodologia pode auxiliar na seleção genética de animais mais eficientes e que emitem menos em relação aos animais não selecionados para tal característica desejada. Porém esses métodos diretos podem ser mais onerosos, difíceis ou demorados, pois muitas das vezes a mensuração se dá através de equipamentos caros e de logística complexa, o que dificulta os resultados de estudos relacionados ao assunto. Já os métodos indiretos têm como base avaliar como um todo a emissão desses gases, dentro de uma determinada cadeia produtiva. Dentre esses métodos empregados na pecuária que podem avaliar o impacto gerado pelo setor está a avaliação de ciclo de vida (ACV).

Dito isso, o presente trabalho visa levantar informações de como a seleção genética de bovinos de corte, através de métodos implementados para seleção de características que visem melhorar o desempenho e reprodução do rebanho, influenciam na mitigação da emissão de GEE.

## 2 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA PELA PECUÁRIA

O agronegócio brasileiro contribui com uma parcela relevante para o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, tendo setores importantes que colaboram para isso, como a agropecuária. Nos últimos anos o impacto da bovinocultura sobre o meio ambiente tem sido tema de discussões. Entre os temas de interesse estão o uso da terra, impactos ambientais do sistema de produção e medidas de mitigação empregadas. De acordo com o MCTI (2022), no ano de 2020, a agropecuária foi responsável por 28,5% das emissões totais de CO<sub>2</sub> (Tabela 1).

Tabela 1 - Emissões de gases de efeito estufa em 2020, por setor, por unidade em milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq.

Setores	Emissões totais	Contrib setorial (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Energia	389,48	23,2%	366,91	12,57	10,01
Processos Industriais e Uso de Produtos	101,94	6,1%	92,45	0,80	0,36
Agropecuária	477,67	28,5%	26,00	289,6	153,06
Mudança do Uso da Terra e Florestas	637,04	38,0%	596,29	27,87	12,89
Resíduos	69,63	4,2%	0,23	66,63	2,76

Fonte: MCTI (2022).

O setor agropecuária é dividido em sete subsetores em relação a emissão de GEE, os quais fazem parte: fermentação entérica, manejo de dejetos, cultivo de arroz, solos manejados, queima de resíduos agrícolas, calagem e aplicação de ureia (MCTI, 2022). A FAO (2013) informa que a agropecuária emite cerca de 9% do CO<sub>2</sub>, e sua liberação acontece durante a queima de combustíveis fósseis, na produção e utilização de fertilizantes agrícolas, degradação de pastagens, desmatamento de florestas, mudança no uso da terra e liberação de carbono dos solos cultivados.

A emissão de CH<sub>4</sub> pelos bovinos pode chegar a 57 kg de CH<sub>4</sub>/animal/ano, desde que não seja aplicada nenhuma estratégia mitigadora de emissão (FIGUEIREDO et al., 2016). O CH<sub>4</sub> é produzido principalmente pela fermentação entérica no rúmen durante o processo de ruminação. Além disso, a emissão de CH<sub>4</sub> pelos bovinos pode afetar o desempenho, havendo um desperdício de energia durante o processo de produção de CH<sub>4</sub>,

afetando a eficiência energética e representando uma perda de 2 a 12% do total da ingestão bruta de energia (NAGARAJA, 2019). Segundo Rotz (2017) a fermentação entérica contribui com aproximadamente cerca de 45% dos GEE advindos da pecuária no sistema de confinamento, podendo ser maior em sistema produzido a pasto.

Em relação ao  $N_2O$ , a pecuária contribui com a emissão de aproximadamente 65% do total das emissões desse gás (FAO, 2013). As principais fontes de emissões de  $N_2O$  estão relacionadas com a utilização de fertilizantes nitrogenados, mineralização da matéria orgânica adicionada ao solo, lixiviação de solos, queima de resíduos agrícolas e, por último, pela adição ou depósito de dejetos animais nos solos (BRUNES; COUTO, 2017).

O tipo e o grau de tecnificação do sistema adotado são fatores relacionados à produção que podem influenciar nas emissões de GEE. Os sistemas podem ser definidos como extensivo, semi-intensivo ou intensivo, de acordo com o grau de tecnologia empregado no sistema de produção. Segundo Casagrande et al. (2023) o sistema extensivo é um regime que se utiliza de pastagens, não utilizando tecnologias atuais para melhoria da produção, enquanto que um sistema semi-intensivo há uso de pastagens e suplementação, com maior grau de tecnologias empregadas. O autor também define o sistema intensivo como um regime que utiliza pastagens, suplementação e confinamento, a depender do tamanho e investimento do sistema de produção. Sistemas intensivos demonstram menores emissões de GEE, quando as emissões são expressas em relação ao kg de carcaça produzida (OLIVEIRA et al., 2020).

Oliveira et al. (2020) avaliaram o impacto ambiental gerado em quatro sistemas de pastejo: pastagem irrigada com alta taxa de lotação (IAL), pastagem de alta taxa de lotação de sequeiro (ALS), pastagem de taxa de lotação média de sequeiro (MLS) e pastagem degradada (PD). Os autores concluíram que os sistemas ALS e MLS tiveram melhores resultados para pegada de carbono  $-1,22$  e  $0,45$  t  $CO_2$ /ha/ano, respectivamente. O sistema IAL apresentou resultado menos favorável para a pegada de C ( $-15,71$  t  $CO_2$ /ha/ano), em contraste, o resultado foi melhor quando expresso em relação ao ganho anual de peso ( $-10,21$  kg  $CO_2$ /kg de peso vivo) devido à sua maior produtividade. Esse resultado confirma que a maior emissão de GEE em sistemas mais tecnificados pode ser compensada com o ganho em produtividade.

Dito isso, a produção de bovinos de corte no Brasil ocorre em sua maior parte em sistemas de produção a pasto, onde apenas 12,6% do rebanho é terminado em confinamento (OLIVEIRA et al., 2020). O sistema de produção a pasto tem potencial para mitigação de GEE devido ao sequestro de carbono pelas gramíneas, desde que sejam bem manejadas.

### 3 MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DE GEE

Existem metodologias capazes de mensurar a emissão de gases de efeito estufa, algumas onerosas e outras mais acessíveis quanto a sua utilização. Esses métodos podem ser definidos como diretos e indiretos. Métodos diretos envolvem estudos mais restritos, por serem mais caros quando comparados aos indiretos. Alguns métodos diretos têm como principal objetivo mensurar um gás específico, como por exemplo o CH<sub>4</sub>. Já os métodos indiretos são consideravelmente mais acessíveis. Dentre os métodos indiretos estão os indicadores de sustentabilidade que podem ser utilizados para avaliar as emissões de GEE dos sistemas de produção, um método comumente utilizado é a avaliação ou análise do ciclo de vida que tem como finalidade quantificar a quantidade de emissões de GEE durante o processo de produção de um determinado produto, avaliando as etapas do processo de produção.

Berndt et al. (2018) afirmam que para avaliação e mensuração correta dos gases emitidos pelos animais ruminantes, devemos considerar alguns aspectos relevantes, que são: interferência da metodologia na rotina do animal, interferência ou mudança no gás emitido a ser avaliado, mudanças em seu ambiente natural ou produtivo, e facilidade para análise das amostras e dos dados.

Para tais estudos, existem várias tecnologias que podem ser empregadas como métodos *in vivo* ou *in vitro*. Alguns exemplos empregados são a câmara respirométrica, técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), *face mask system* (método do capuz), câmara de cabeça para amostragens pontuais (GreenFeed®), laser portátil e produção de gases *in vitro*. Podem haver diferenças entre as metodologias, e que devem ser considerados antes da medição os seguintes pontos: o tempo de medição relativo à alimentação, consumo de ração antes da medição, comportamento do animal na seleção da dieta e nível de atividade antes da medição (HEGARTY, 2007). Todas essas técnicas de medição de CH<sub>4</sub> estão sujeitas à variação experimental e erros aleatórios, não existindo um método 'único' que não haja variações em medições individuais (HAMMOND et al., 2016).

#### 3.1 Câmara respirométrica

A câmara respiratória é considerada o método padrão para estudos relacionados a GEE, como por exemplo o CH<sub>4</sub> (HUHTANEN et al., 2019). A câmara respirométrica (Figura 1) é um equipamento cujo seu princípio baseia-se no recolhimento do ar do ambiente para o

seu interior, e que fica circulando no seu ambiente interno, assim como em torno do animal, homogeneizando-se ao  $\text{CH}_4$  emitido, onde durante esse processo ocorre a amostragem do ar de entrada e de saída (BERNDT et al., 2018). A produção de  $\text{CH}_4$  é então determinada multiplicando-se o fluxo de ar através do sistema pela diferença entre a concentração do ar de entrada e de saída (HAMMOND et al., 2016; HILL et al., 2016).

Figura 1 - Câmara respirométrica utilizada para bovinos.



Fonte: Silva (2011).

A câmara respirométrica é um tecnologia de precisão e de ótimo controle do ambiente interno, gerando resultados mais precisos na quantificação de  $\text{CH}_4$ . Por outro lado, o ambiente artificial a qual o animal está inserido pode interferir no consumo em decorrência de possível desconforto do animal, interferindo na ingestão de matéria seca (IMS). O consumo de alimento está diretamente ligado à produção de  $\text{CH}_4$  pelos bovinos.

Apesar de sua confiabilidade, o custo de instalação e a capacidade do equipamento restringem o número de animais que podem ser avaliados em um mesmo experimento. Outro ponto é o problema para estimar as emissões em escala de fazenda, pois o gado possui pastoreio seletivo, formando preferências alimentares ao longo do tempo, tendo influência no atendimento de suas necessidades nutricionais (THOMPSON; PAS, 2020).

### 3.2 Técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre

Este método tem como princípio a seguinte aplicação: a emissão de  $\text{CH}_4$  entérico é estimada se a taxa de emissão de um gás traçador dentro do rúmen for conhecida, utilizando

um gás não-tóxico, estável e que se comporte dentro da dinâmica de gases no rúmen, do mesmo modo que o  $\text{CH}_4$  (BERNDT et al., 2018). O gás mais utilizado para execução dessa técnica é o  $\text{SF}_6$ . Este gás pode ser aplicado em concentrações baixas, podendo ser utilizado para animais confinados bem como livres em pastejo.

Para a execução dessa técnica é utilizado um tubo de permeação (cápsula), que é administrado pela boca do animal e permanece no rúmen/retículo liberando uma pequena e conhecida taxa de gás traçador, no caso o  $\text{SF}_6$ , sendo as coletas em um intervalo de 24 horas durante cinco dias (MEO FILHO, 2017). O ar expirado pelo o animal é coletado por meio de um tubo de teflon (Figura 2), preso por um cabresto e conectado a um recipiente de armazenamento previamente evacuado (canga). Para o cálculo de emissão de  $\text{CH}_4$  é considerado a proporção de  $\text{CH}_4:\text{SF}_6$  na canga, sendo a taxa de emissão de  $\text{CH}_4$  ruminal calculada em g/d.

Figura 2 - Bovinos Nelore em coleta de dados individuais de emissão de  $\text{CH}_4$  entérico utilizando a técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre.



Fonte: MAPA (2020).

Para escolha de um gás traçador é necessário atender alguns requisitos, ou seja, as suas concentrações no ambiente devem ser extremamente baixas em relação a concentração

do gás traçador nas amostras coletadas, conhecer as concentrações de fundo no ambiente são importantes para execução do método e a precisão das estimativas da emissão de CH<sub>4</sub> (BERNDT et al., 2018). Esse método é relativamente trabalhoso e intensivo em equipamentos e, portanto, requer uma maior mão de obra para a sua execução (HUHTANEN et al., 2019).

### 3.3 Método do capuz (*Face mask system*)

O método do capuz é um sistema alternativo simples e de baixo custo para mensurar a emissão de CH<sub>4</sub> em ruminantes, se assemelhando ao princípio das câmaras respirométricas em termos das medidas de trocas gasosas e mudanças na concentração de CH<sub>4</sub> exalado. Essa técnica consiste no uso máscara pelo animal (Figura 3) apenas em sua cabeça, completamente vedada, dessa forma, todo o ar (expirado e eructado) é coletado, e quantificado, incluindo a emissão de CH<sub>4</sub> entérico.

Figura 3 - Vaca utilizando máscara para a mensuração das mudanças na concentração de CH<sub>4</sub> exalado.



Fonte: Norris (2021).

A máscara facial é mais utilizada quando se deseja uma resposta rápida para a medição de trocas gasosas de animais em curtos períodos de tempo. Esse método tende apresentar uma maior variação nos valores diários de emissões, causando um impacto negativo na mensuração do CH<sub>4</sub> nos animais quando comparado a outros métodos, como o SF<sub>6</sub> e a câmara respirométrica. Em contraste, estudos realizados obtiveram resultados

diferentes quando se mensurou o CH<sub>4</sub> a curto prazo utilizando essa técnica. Oss et al. (2016), em estudo comparativo a outros métodos, que foram a câmara respirométrica e SF<sub>6</sub>, concluíram que a técnica da máscara facial a curta duração gerou medições de CH<sub>4</sub> semelhantes.

### 3.4 Câmara de cabeça para amostragens pontuais (GreenFeed®)

O sistema GreenFeed® é baseado em amostragem pontual de gases eructados e exalados permitindo a medição da emissão de CH<sub>4</sub> entérico em um grande número de animais em condições de fazenda (HUHTANEN et al., 2019). Esse sistema mede individualmente a emissão de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> de bovinos através de um dispositivo estático de medição a curto prazo por integração das medidas de fluxo de ar, concentração de gás e detecção da posição da cabeça quando o animal visita o equipamento (SORG et al., 2018; BERNDT et al., 2018 ). O sistema GreenFeed® pode medir a emissão de CH<sub>4</sub> de 15 a 25 animais por dia, dependendo do tipo de unidade e das condições de alojamento. Os animais têm a liberdade de visitar o equipamento a qualquer momento, mas a amostragem dos gases só acontece após certo intervalo entre visitas, de três a sete minutos, determinado pela programação pré-estabelecida no sistema (SORG et al., 2018).

Figura 4 - Câmara de cabeça para amostragens pontuais(GreenFeed®).



Fonte: MEO FILHO (2017).

A mensuração do CH<sub>4</sub> emitido pelo animal é obtida através de um exaustor ou mesmo por um sistema de ventilação que puxa o ar expirado do animal e o direciona para uma

tubulação de escape, sendo direcionado para próxima da cabeça do animal por meio de um sensor de presença, em seguida, ocorre o escape (SAKAMOTO, 2018). Ao final desse processo há a mensuração do fluxo de ar.

Entre os principais métodos atuais para quantificação da produção de  $\text{CH}_4$  entérico em ambiente a pasto estão os sistemas GreenFeed® e o  $\text{SF}_6$  (HILL et al., 2016; THOMPSON; PASS, 2020). Esse equipamento pode ser utilizado em sistemas de confinamento ou em sistema a pasto, desde que esteja ligado a uma fonte de energia alternativa, como painéis solares. Outro ponto positivo, é o custo favorável em relação a outros métodos, como a câmara respirométrica e também por exigir menos mão de obra quando comparado ao  $\text{SF}_6$ . Além disso, é possível a obtenção de tamanhos de amostras maiores (mais réplicas experimentais) em comparação com outras técnicas de amostragem (THOMPSON; PAS, 2020).

### 3.5 Detector portátil de metano a laser

O laser portátil detector de metano (Figura 5) é uma tecnologia que pode monitorar a concentração de  $\text{CH}_4$  do ar expirado pelos animais, baseado em espectroscopia de absorção do infravermelho para o  $\text{CH}_4$ , ou seja, embasado na sensibilidade molecular para detecção de  $\text{CH}_4$  entérico em ruminantes (CHAGUNDA, 2013).

Figura 5 - Detector portátil de metano a laser.



Fonte: Google imagens (2023).

As medidas são aferidas manualmente a um ou três metros de distância do animal. A coleta de dados ocorre pelo detector portátil em um espaço curto de tempo contínuo, entre

dois a quatro minutos (MEO FILHO, 2017). Estudos demonstram concordância relativamente forte entre as medições de CH<sub>4</sub> pelo método em relação às registradas em outras técnicas (CHAGUNDA, 2013).

### **3.6 Produção de gases *In Vitro***

Esse método simula a produção de CH<sub>4</sub> pelo rúmen do animal através da fermentação ruminal de alimentos e dietas, onde as amostras de alimentos são fermentadas em condições laboratoriais simulando as condições ruminais em cultura contínua ou em frascos de fermentação (BERNDT et al., 2018).

Para tal método, é necessário acesso ao fluido do rúmen fresco através de animais fistulados, posteriormente são coletadas alíquotas de gases dos frascos de fermentação. Em seguida, ocorre a análise da concentração de CH<sub>4</sub> que é realizada por cromatografia gasosa. Apesar de fácil execução e rapidez, apresenta uma desvantagem como todas as mencionadas anteriormente. A principal desvantagem é a mensuração apenas da emissão de CH<sub>4</sub> ligada a fermentação ruminal, não contabilizando as outras emissões de CH<sub>4</sub> ligadas a digestão do alimento por todo o trato gastrointestinal e, portanto, não representa bem a variação genética inerente ao animal.

### **3.7 Avaliação ou Análise do ciclo de vida**

A ACV é uma ferramenta utilizada para avaliar a pegada de carbono, em que se computam as emissões e os sequestros dos processos para verificar o balanço de carbono durante o ciclo de vida do produto, sendo possível determinar o impacto ambiental de um produto desde a identificação até a quantificação da energia necessária e das matérias-primas utilizadas para a sua obtenção (FERNANDES JUNIOR, 2019). Segundo Mcauliffe et al. (2018), uma ACV na pecuária é baseada em dados de inventário para explorações agrícolas típicos de uma região de estudo.

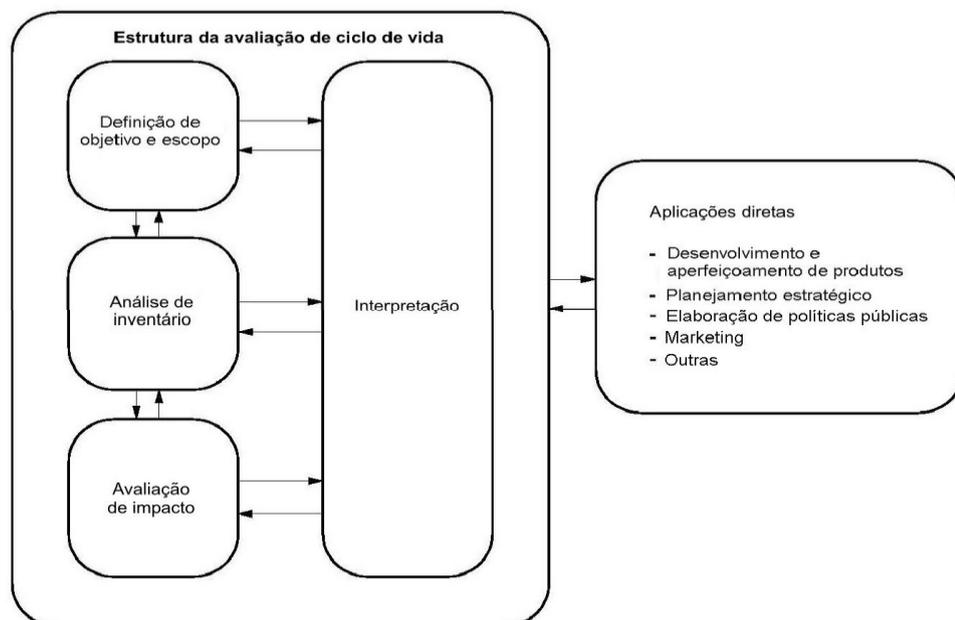
A metodologia da ACV é regulamentada pelas normas ISO 14040 e 14044. A ABNT NBR ISO 14040 aborda os princípios e a estrutura da ACV. Em complemento, a ISO 14044 apresenta os requisitos necessários da avaliação com algumas sugestões e orientações

para execução da análise (FERNANDES JUNIOR, 2019). Por último, a ISO 14049 apresenta exemplos ilustrativos de como aplicar as normas anteriores. A ISO 14040 apresenta também uma série de normas para ACV que norteiam o que a empresa deve fazer, seus direitos e deveres (FERNANDES JUNIOR, 2019).

Na produção animal esse processo pode ser chamado em sua maioria das vezes de “nascimento ao abate”(ISO 14040), que para a produção de carne, a análise deve conter todas as avaliações das emissões de GEE de todo o processo até o descarte final dos resíduos gerados pelo gado (PLACE; MITLOEHNER, 2014).

De acordo com a ISO 14040, a ACV é utilizada para avaliar os aspectos ambientais e possíveis impactos associados a um produto ou processo, sendo dividida em quatro etapas (Figura 6): definição dos objetivos e escopo, compilação de um inventário de entradas e saídas de um sistema de produto, avaliação dos potenciais impactos ambientais associado a essas entradas e saídas (ABNT, 2009). E por último, interpretação dos resultados da análise de inventário e das fases de avaliação do impacto em relação aos objetivos do estudo.

Figura 6 - Fases de uma avaliação de ciclo de vida.



Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2009).

A definição do objetivo da ACV engloba a aplicação pretendida, razões para a execução do estudo, público-alvo e se existe a intenção de utilizar os resultados para fins comparativos a serem divulgados publicamente. O escopo é outro item que faz parte da ACV,

que inclui, por exemplo, o sistema de produto a ser estudado, as funções do sistema de produto, a unidade funcional, as fronteiras do sistema, procedimentos de alocação, limitações, dentre outros pontos que fazem parte.

Outra fase da ACV é a análise do inventário do ciclo de vida (ICV) que envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto (ABNT, 2009). À medida que é realizado o ICV, podem ser realizadas modificações no estudo para que se possa satisfazer os objetivos do estudo traçados inicialmente, devido a ampliação do conhecimento sobre o sistema, novos requisitos ou limitações dos dados.

A terceira fase de uma ACV é a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), que tem como objetivo principal estudar a significância dos potenciais impactos ambientais utilizando os resultados do ICV, ou seja, envolve associar dados de inventário com categorias de impacto específicas e indicadores de categoria para o entendimento de tais impactos gerados pelo sistema (ABNT, 2009). Essa etapa é de suma importância para a conclusão da ACV, a qual precede e fornece informações para a fase de interpretação do ciclo de vida. Nesta última fase da ACV são realizadas conclusões da coleta e análise de dados, onde se leva em consideração objetivo e escopo da ACV.

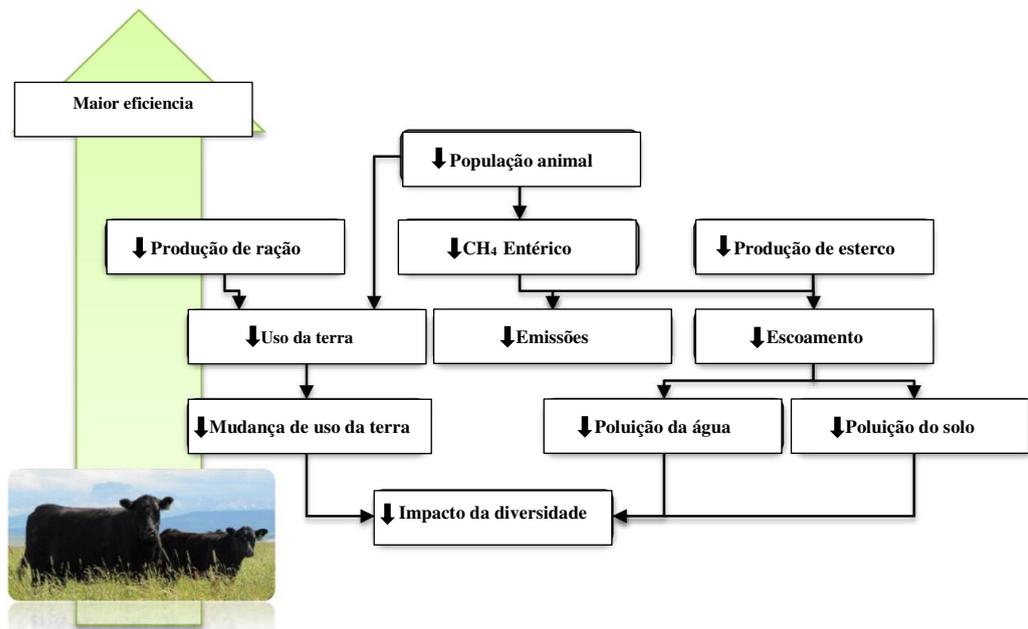
Por último, a interpretação leva em conta os resultados da AICV, baseados em uma abordagem relativa, que indicam efeitos ambientais potenciais e que não prevêem impactos reais sobre os pontos finais da categoria, a extrapolação de limites, margens de segurança ou riscos. Na ACV de um produto advindo da pecuária, pode ser escolhido três tipos de sistemas diferentes de avaliação (FERNANDES JUNIOR, 2019):

- a) Nascimento ao abate (*Cradle-to-grave*): nesse tipo de sistema acontece a partir da extração e uso das matérias-primas, e finaliza com o descarte final na forma de resíduo;
- b) Nascimento a porteira (*Cradle-to-gate*): são abordados todos os impactos iniciando com a extração da matéria-prima e encerrando no portão da fábrica;
- c) Porteira a porteira (*Gate-to-gate*): definido em um ponto ao longo do ciclo de vida do produto e finalizando com a definição de um segundo ponto dentro da ACV.

#### 4 SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE ZOOTÉCNICO PARA MITIGAÇÃO DE GEE

As medidas de seleção podem gerar grande impacto na sustentabilidade da produção de bovinos de corte, na qual a eficiência tem se tornado cada vez mais um ponto importante para o impacto ambiental. Segundo Terry et al. (2021) quando se há uma melhora da eficiência da produção, conseqüentemente é proporcionado uma redução no impacto ambiental em decorrência da melhoria na eficiência produtiva (Figura 7). O aumento da produção causa a diluição das emissões de CH<sub>4</sub>, ou seja, o custo fixo (manutenção) em mais unidades de produção reduz a necessidade total de energia por kg de produção ou crescimento de carne, o que resulta em menor emissão por unidade de um produto (STRANDÉN et al., 2022). Sakatani (2022) afirma que uma melhoria de 10% na taxa de concepção durante o verão (um terço do ano) permite uma redução de aproximadamente 3% nas emissões anuais de GEE.

Figura 7 - Benefícios do aumento da eficiência da pecuária decorte.



Fonte: Adaptado de Terry et al. (2021).

Wall et al. (2010) afirmam que a seleção de características de aptidão melhoradas como tempo de vida, saúde, fertilidade, ajudam a reduzir as emissões em decorrência da redução do desperdício de animais. Segundo os autores, a seleção exclusivamente para animais de maior produção tem efeitos indiretos conhecidos sobre as características essenciais

de fitness, que também afetam a sustentabilidade ambiental. As características de fitness são aquelas interligadas à sobrevivência dos animais no rebanho, por exemplo, sobrevivência da prole, resistência a carrapatos, maior longevidade, e outras que influenciam no desempenho produtivo e sustentável do sistema.

Terry et al. (2021) relataram que uma mudança de 10% na heterozigose retida resultou em  $51 \pm 20$  dias de sobrevivência maior no rebanho, principalmente em bezerros. A heterozigose retida é definida como uma medida da mudança percentual relativa na heterose da progênie em comparação com a primeira geração (BASARAB et al., 2018). De acordo com Terry et al. (2021), essa retenção de 10 % na heterozigose proporcionou ganho de  $35,7 \pm 15,2$  kg a mais de peso de bezerro desmamado por vaca exposta em cinco paridades e também uma diminuição de um a dois dias na idade ao primeiro parto. Todos esses ganhos genéticos geram impacto direto ou indiretamente na emissão de GEE em decorrência da melhora na eficiência do sistema de produção.

Segundo Nguyen et al. (2013), quando o manejo nutricional e o melhoramento do desempenho reprodutivo são usados em conjunto, podem gerar reduções mais substanciais nas emissões de GEE. White et al. (2015) observaram que a seleção de medidas para reprodução e desempenho, parto gemelar e desmame precoce, proporcionaram redução significativa entre 3,2% a 9,2% nas emissões de GEE em comparação com o sistema tradicional nos EUA. Dito isso, o melhoramento genético animal tem contribuído para a mitigação de GEE tanto direto, quanto indiretamente.

Strandén et al. (2022) afirmam que a seleção de características produtivas pode reduzir as emissões de GEE através do menor número de matrizes e touros para a produção de carne bovina. Isso ocorre devido a melhora na eficiência produtiva do sistema, por conta do aumento no número de animais produtivos e por impactar diretamente no tempo necessário para atingir o peso de abate, ou seja, há uma redução desse tempo de permanência do animal no rebanho. A eficiência alimentar impacta no consumo de ração que está correlacionado diretamente com a produção de CH<sub>4</sub>, pois ao selecionar animais para essa característica, haverá melhora no aproveitamento do alimento e desempenho, reduzindo a produção de CH<sub>4</sub>.

Outro ponto é a redução de descarte de reprodutores e matrizes improdutivas, a seleção de características de interesse reduz o número de animais menos eficientes devido a melhora no valor genético e conseqüentemente a melhora da eficiência reprodutiva do rebanho. Por último, a melhora da saúde leva a níveis mais baixos de descartes involuntários e aumento da fertilidade geral (STRANDÉN et al., 2022). A seleção de animais com características que impactam na mitigação de GEE tem sido uma ferramenta muito utilizada

pelo melhoramento genético animal. Algumas dessas características têm impactado não apenas do ponto de vista ambiental, mas também de produtividade e de bons resultados econômicos. Algumas dessas características voltadas para reprodução, desempenho e fitness e, que são utilizadas como critério de seleção, serão abordadas a seguir na presente revisão.

#### **4.1 Eficiência alimentar e consumo de alimento residual (CAR)**

A eficiência alimentar é uma característica de desempenho que está ligada diretamente com a produção de CH<sub>4</sub> pelos bovinos. Animais mais eficientes aproveitam melhor os alimentos consumidos e produzem menos CH<sub>4</sub>. Segundo Oliveira (2014), a eficiência alimentar pode ser definida como a habilidade de um animal em aproveitar o alimento consumido ou ingerido para manutenção e produção. Essa medida também está ligada diretamente a fatores do ambiente, como ambiência, sanidade e tipo de alimento. Em contrapartida, animais selecionados podem ser menos afetados pelos fatores externos, mesmo em condições adversas.

A inclusão da eficiência alimentar como objetivo em um programa de seleção também é economicamente muito atraente, pois a maior parte dos custos não fixos em um rebanho são decorrentes da alimentação (OLIVEIRA, 2014). Llonch et al. (2017) estimaram que se a inclusão da eficiência alimentar fosse selecionada como a principal meta de melhoramento animal para ruminantes, poderia ser alcançada redução de cerca de 15% na emissão de CH<sub>4</sub>. Fitzsimons et al. (2013) ao investigarem a emissão de CH<sub>4</sub> por animais mais eficientes encontraram um melhor resultado de 12,5% em comparação aos bovinos menos eficientes para conversão alimentar.

O CAR é outra medida que está relacionada com eficiência alimentar e que pode ser usada como critério de seleção para a mitigação de GEE. O CAR é o resultado da diferença entre o consumo de ração real e a necessidade de alimento/ração esperada para a sua manutenção ou produção (BASARAB, 2013). Essa característica pode ser utilizada como critério para seleção de bovinos de corte visando também a redução da emissão de CH<sub>4</sub> entérico. Isso porque a produção de CH<sub>4</sub> entérico está correlacionado com o consumo de alimento.

A seleção em bovinos mais eficientes, ou seja, que apresentam menor CAR, resultará em menor consumo de matéria seca (CMS) e uma melhor taxa de conversão alimentar em comparação com animais com valores maiores de CAR (BASARAB, 2013). Ainda segundo o autor, este critério é muito dependente da medição precisa do consumo

individual de ração pelo animal, sendo uma medida de seleção de herdabilidade moderada (0,26 a 0,43).

Os bovinos com baixo CAR podem emitir entre 15% a 25%, a menos de CH<sub>4</sub> entérico em relação aos animais com CAR mais elevados (BASARAB, 2013). Segundo o autor, espera-se que a seleção para essa medida melhore a eficiência alimentar e reduza as emissões de CH<sub>4</sub> entérico em um valor percentual de 0,75% a 1,0% por animal/ano ao considerar animais com peso corporal, taxa de crescimento e gordura corporal semelhantes.

Johnson et al. (2019) examinaram a relação entre o CAR e a produção *in vitro* de CH<sub>4</sub>, e chegaram ao resultado de 14% a menos de emissão de CH<sub>4</sub> para novilhas que tinham baixo CAR, quando comparadas às novilhas com alto CAR. Animais de baixo CAR também consumiram 19% a menos de IMS em comparação com animais menos eficientes. Este resultado de baixa produção de CH<sub>4</sub>, se deve ao fato dos animais com baixo CAR precisarem consumir menos alimento, tendo uma digestibilidade maior da MS em comparação com novilhos com valores de CAR alto, 70,3% de digestibilidade da MS contra 66,5%, respectivamente

Jones et al. (2011) realizaram estudos para quantificar emissões de CH<sub>4</sub> de 48 vacas Angus, selecionadas para diferentes valores de CAR. Foram utilizados dois grupos com CAR divergente: 25 vacas com alto CAR (baixa eficiência) e com valor genético estimado (VGE) de  $0,68 \pm 0,220$  kg/d, e 23 vacas com baixo CAR (alta eficiência) com VGE de  $-0,69 \pm 0,335$  kg/d. Foram obtidos resultados satisfatórios para produção de menos CH<sub>4</sub> nos animais mais eficientes, quando submetidos a uma pastagem de melhor qualidade. Houve diferença nas emissões diárias de CH<sub>4</sub> entre as vacas de alta e baixa eficiência, de  $0,34 \pm 0,017$  de CH<sub>4</sub>/kg de peso vivo contra  $0,46 \pm 0,023$  g de CH<sub>4</sub>/kg de peso vivo, respectivamente.

#### **4.2 Ganho médio diário (GMD)**

O GMD é um parâmetro muito utilizado para medir o desempenho individual ou geral do rebanho. Animais selecionados para ótimo ganho de peso tendem a permanecer menos tempo no rebanho, impactando diretamente nas emissões de GEE. Isso se deve a o fato de permanecerem menos tempo emitindo CH<sub>4</sub> entérico, pois o maior ganho de peso faz com que o animal atinja o peso de abate precocemente, ocasionando uma redução nas quantidades emitidas de GEE devido ao menor tempo de permanência do animal no rebanho. A seleção para aumentar o ganho de peso vem sendo usada como critério de seleção indireta para

melhora da conversão alimentar (OLIVEIRA, 2014). O abate de animais mais jovens na bovinocultura de corte interfere diretamente na redução do coeficiente de emissão de CH<sub>4</sub> por kg de carne produzida (CRUZ; MIRANDA, 2022).

D'aurea et al. (2021) em estudo realizado analisaram os impactos das emissões de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> em 17 fazendas dos EUA. As intensidades de emissão de GEE foram reduzidas com o aumento do GMD, havendo correlação entre as emissões de GEE com os ganhos individuais dos animais. Segundo o estudo, o GMD foi de 0,436 kg/animal/d<sup>-1</sup>, com valores de GMD obtidos dessas fazendas variando entre 0,16 a 0,84 kg/animal/d<sup>-1</sup>, demonstrando que o ganho sofre interferência de acordo com o tipo de sistema adotado.

Sistemas de produção mais extensivos produzem mais GEE devido à menor eficiência produtiva. Os resultados obtidos no estudo para o GMD e a idade de abate, que foi entre 14 a 51 meses de idade, foram as variáveis produtivas que mais sofreram influência das emissões de GEE, em que as propriedades que tiveram valores de idade ao abate mais tardia e menor GMD, constataram valores mais altos para intensidade de emissão de GEE. Os valores para intensidade de emissão de GEE entre as propriedades, foram entre 8,6 a 50,9 kg CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>-1</sup> de carcaça<sup>-1</sup>.

### **4.3 Rendimento de carcaça**

O rendimento de carcaça na bovinocultura pode ser definido como uma medida quantitativa, resultante da relação do peso da carcaça quente dividida pelo peso vivo antes do abate. O rendimento de carcaça representa a capacidade dos animais de converter a oferta de alimento em produto final e está relacionado, dentre outros, com a raça do animal e o sistema de produção adotado (LAZARI et al., 2019). Este é um parâmetro importante dentro do melhoramento genético, pois está ligado também com a precocidade.

A precocidade é influenciada diretamente pela genética, nutrição e ambiente. Os animais selecionados para precocidade conseguem alcançar melhor rendimento de carcaça mais cedo, característica que tem influência sobre o impacto ambiental. O aumento do peso de carcaça do animal abatido (kg/cabeça) causa a diluição do custo energético de manutenção de bovinos de corte jovens e conseqüentemente uma menor intensidade de emissão de CH<sub>4</sub>, devido ao aceleração do crescimento dos animais (FAVERDIN et al., 2022).

D'aurea et al (2021) estimaram as emissões médias de GEE em escala de rendimento de propriedade. Foi obtido o valor médio de 21,9 kg CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>-1</sup> de carcaça, com variação dos valores entre 8,6 a 50,9 kg CO<sub>2</sub> eq/kg<sup>-1</sup> de carcaça. Ainda segundo o estudo, a

média de idade no abate foi de dois anos e quatro meses. O rendimento de carcaça se relaciona diretamente com as emissões GEE por kg de carne produzida, de forma que, ao produzir em menor tempo mais kg de carcaça, haverá uma menor emissão de GEE.

Lazari et al. (2019) avaliaram o desempenho produtivo e a produção de CH<sub>4</sub> em dois sistemas de recria e terminação de bovinos de corte. Foi realizada a comparação de um sistema com recria e terminação a pasto com suplementação (PS) em relação a um sistema com suplementação e terminação em confinamento (PSC). Este último reduziu em 61 dias o tempo de recria, emitindo cerca de 41,42% a menos CH<sub>4</sub> em relação ao PS. Houve uma diferença significativa para produção de CH<sub>4</sub> entre os dois sistemas de 2,89 Mcal/kg ganho de peso corporal. Essa diferença representa 57,2% a menos de CH<sub>4</sub> emitido por kg de ganho de peso corporal produzido no sistema PSC em comparação com o sistema PS. A produção em sistemas mais eficientes aliados à genética animal geram resultados econômicos e sustentáveis mais satisfatórios.

#### **4.4 Intervalo de partos**

O Intervalo de partos é outra característica reprodutiva importante para a bovinocultura de corte, pois tem grande impacto econômico e ambiental. O intervalo de partos é definido como o período de tempo entre o nascimento de um bezerro e o parto seguinte. Intervalos prolongados entre um parto e outro, podem gerar mais custos com alimentação e maior impacto ambiental, pois as vacas ou novilhas passam mais tempo no rebanho gerando emissões de CH<sub>4</sub>, por exemplo. Além disso, há um aumento relativo no uso da terra e água, aumentando o impacto ambiental.

O intervalo de partos está relacionado ao intervalo parto-concepção, que depende da retomada dos ciclos estrais pós-parto, estando também relacionado com a ingestão de nutrientes, antes e após o parto, afetando a duração do anestro pós-parto e a taxa de prenhez (DISK; KENY, 2016). White et al. (2013) ao reduzir o intervalo de partos em um sistema de produção de bovinos de corte em comparação a um sistema tradicional dos EUA, obtiveram uma redução de 3,2% nas emissões de CH<sub>4</sub>. O estudo relata que a seleção de touros por diferença esperada na progênie (DEP) e a redução do intervalo de partos, causaram impacto nas emissões de CH<sub>4</sub>, reduzindo em 13,4%, quando comparado com sistema tradicional.

#### **4.5 Idade ao Primeiro Parto**

A idade ao primeiro parto é outra característica do melhoramento genético animal que também tem grande impacto econômico e na sustentabilidade da produção de bovinos de corte. A idade ao primeiro parto é caracterizada como a idade relacionada ao primeiro nascimento do bezerro de uma novilha. Essa característica gera grande impacto na mitigação de GEE tanto direta, como indiretamente.

As novilhas precoces levam menos tempo para atingirem a maturidade sexual, reduzindo os recursos necessários para que consigam entrar no ciclo de reprodução do rebanho. Outro fator é o melhor aproveitamento do alimento, ou seja, são mais eficientes na conversão alimentar, necessitando de menos alimento para seu desenvolvimento corporal, conseqüentemente impactando diretamente nas emissões GEE, principalmente o CH<sub>4</sub>. A redução na idade de entrada das novilhas no ciclo reprodutivo, aumenta a produtividade ao longo da vida além de melhorar a eficiência econômica (DAY; NOGUEIRA, 2013).

A redução da idade ao primeiro parto sofre influência da genética e da nutrição. Essa última influencia diretamente no ganho de peso, que tem papel importante para o início da vida reprodutiva de uma vaca. Os pesos-alvo recomendados das novilhas de corte para a puberdade (pré-reprodução) devem estar entre 60 a 65% do peso adulto estimado da raça, e no primeiro parto entre 65 a 70%, de modo a atingir 85% do peso adulto no primeiro parto (DISKIN; KENNY, 2014).

Day e Nogueira (2013) em estudo realizado com novilhas precoces, obtiveram um aumento na média do número de bezerros dessas matrizes, ou seja, as novilhas que pariram primeiro aos dois anos de idade produziram em média 0,7 bezerros a mais que as vacas que pariram primeiro aos três anos de idade, e quando todas as vacas tinham seis anos e seis meses de idade. De acordo com Nguyen et al. (2013), a redução da idade ao primeiro parto pode ser uma estratégia promissora para mitigar as emissões de GEE em cerca de 8% a 10%.

Existe variação genética para a idade à puberdade e, em populações como a raça Nelore, a seleção para a puberdade precoce tem o potencial de influenciar substancialmente a eficiência de produção, conseqüentemente na sustentabilidade do sistema de produção (DAY; NOGUEIRA, 2013).

#### **4.6 Parto duplo ou gemelar**

A melhoria no número de nascimentos de bezerros por vaca ao ano, ou seja, pelo nascimento de parto gemelar é uma tecnologia em vigor no campo desde a década de 1970 (FAVERDIN et al., 2022). O parto duplo ou gemelar é uma característica de seleção que pode

ser utilizada para tentar reduzir as emissões de GEE, sendo também de interesse econômico, mesmo que os bezerros sejam menos pesados ao nascer e por consequência tenham um desempenho inferior aos bezerros nascidos de partos normais. Em compensação, a seleção de vacas para essa característica é viável do ponto de vista da sustentabilidade. Isso se deve ao fato de uma vaca produzir dois bezerros ao invés de um por parto, dispensando o tempo necessário para gerar outro bezerro em relação a um parto normal.

A seleção para parto gemelar possibilita aumento de 21% na produção de carcaça de um rebanho (FAVERDIN et al., 2022). Um ponto a destacar para essa característica, é a necessidade de um número menor de vacas para parir um número maior de bezerros em comparação às matrizes de partos comuns. Normalmente, na produção de bovinos de corte o parto duplo ocorre entre 1% a 5% dos partos (MOIOLI et al., 2017). Moioli et al. (2017) utilizando matriz de parentesco genômico estimada por meio de dados de marcadores de DNA, calcularam a herdabilidade para a característica de parto gemelar e obtiveram o valor de  $0,29 \pm 0,02$

Cummins et al. (2008) realizaram estudo de caso com um rebanho de 307 vacas, cuja principal característica era o parto duplo e com uma taxa de nascimento de 1,11 para essa característica, foi constatado um aumento de 3% ao ano para a taxa de ovulação e parto. Segundo o mesmo estudo, em 2004 o rebanho alcançou uma taxa de parto gemelar de 1,56. As vacas ao parirem mais gêmeos, conseguiram produzir 52% a mais kg de peso vivo de bezerros ao desmame, impactando diretamente na eficiência e sustentabilidade.

White et al. (2013) avaliaram a sustentabilidade de um sistema de produção, analisando oito cenários diferentes em relação ao tradicional, sendo o parto duplo um destes. Para o resultado obtido para as emissões de GEE analisando o parto duplo, constatou-se uma redução de 9,2% nas emissões de GEE em comparação com o sistema convencional.

#### **4.7 Longevidade**

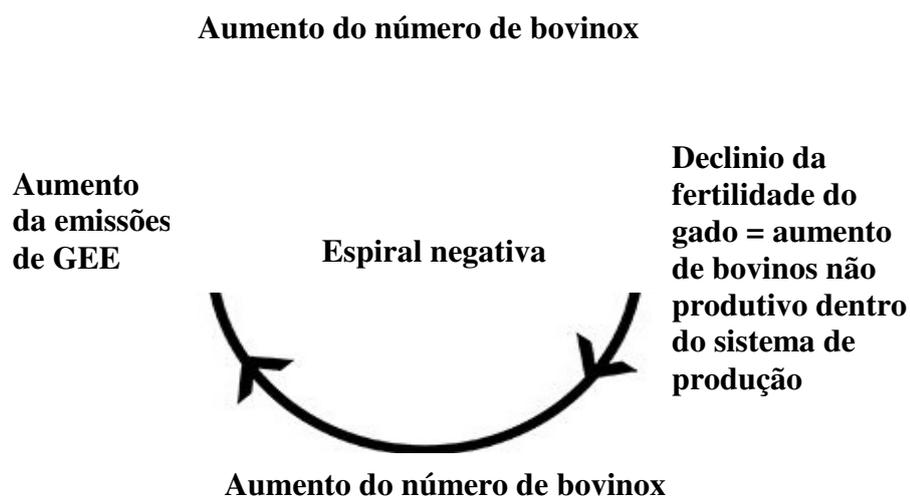
A longevidade de vacas dentro do rebanho é uma característica que pode ser explorada para a mitigação de GEE. Essa característica tem o potencial de mitigação entre 1% a 13%, se considerarmos a redução da taxa de reposição e a venda de novilhas excedentes do sistema (BEAUCHEMIN et al., 2011; LLONCH et al., 2017).

A longevidade de uma vaca está relacionada ao tempo de permanência no rebanho mantendo o seu desempenho zootécnico, reduzindo o descarte de animais improdutivos e consequentemente afetando a taxa de reposição. A seleção de animais com vida útil mais

longa reduz o número de substituições a serem mantidas (STRANDÉN et al., 2022). Essa reposição impacta diretamente no quesito ambiental, sendo necessário selecionar e formar animais para reprodução. Além disso, vacas que apresentam problemas reprodutivos geram impactos ambientais e econômicos, pois acabam consumindo mais recursos ambientais e econômicos do sistema de produção.

A longevidade de vacas produtivas é um critério de seleção que impacta diretamente nas emissões de GEE (Figura 8) por serem normalmente animais de alto valor genético. Então, a seleção para a melhor expectativa de vida dessas vacas reprodutoras reduz as emissões de GEE do sistema, retendo o número de animais necessários para manter a eficiência reprodutiva do rebanho, e diminuindo o número de animais não produtivos (SAKATANI, 2022).

Figura 8 - Impacto ambiental gerado pela redução na fertilidade do rebanho.



Fonte: Adaptado de

A baixa fertilidade resultando em uma necessidade de substituições para cumprir as metas de produção e também mais substituições para manter o tamanho do rebanho, o que aumenta o GEE a nível de rebanho (LLONCH et al., 2017).

Beauchemin et al. (2011) realizaram um estudo utilizando ACV em uma fazenda nos EUA, sendo essa análise conduzida durante um período de oito anos, onde contabilizaram integralmente as emissões de GEE ao longo da vida das vacas, touros e suas progênes. Neste estudo constatou-se o aumento da longevidade das vacas e touros do rebanho em um ano, permitindo uma temporada adicional de parto (ou seja, de sete para oito), consequentemente

com o aumento da longevidade do plantel ao longo do ano permitindo uma progênie adicional. Em contrapartida, a intensidade de emissão de GEE foi reduzida em menos de 1%.

#### **4.8 Taxa de sobrevivência de Bezerros**

Esse critério de seleção está interligado a outros, pois ao melhorar o parto e as características maternas resulta na mitigação das emissões GEE, devido à melhora na sobrevivência da prole durante os períodos peri, neo e pós-natal (WALL et al., 2010). Baixas taxas de sobrevivência junto à baixa fertilidade, influenciam no aumento no número necessário de animais para manter os níveis de produção e um tamanho de rebanho estável, conseqüentemente, uma maior proporção das emissões de GEE é produzida por substituições no rebanho (SAMSONSTUEN et al., 2020). A sobrevivência de um número maior de bezerros resulta no aumento do número de bezerros desmamados por ano (LLONCH et al., 2017).

Samsonstuen et al. (2020) relatam que a redução na mortalidade de bezerros, juntamente com aumento do número de bezerros produzidos por vaca/ano reduziram as intensidades de emissão de CH<sub>4</sub> em 3%. Beauchemin et al. (2011) constataram uma redução de 4% nas emissões de GEE quando se há uma melhora na taxa de sobrevivência dos bezerros, estando também relacionado com a melhora nas práticas de manejo da fazenda.

Beauchemin et al. (2011), em estudo executando uma ACV para a produção de bovinos de corte em uma fazenda de ciclo completo, verificaram a melhora na sobrevivência dos bezerros ao desmame, aumentando a taxa de sobrevivência de 85% para 90%, resultando em aumento da quantidade total de carne produzida, e por consequência aumento nas emissões totais de GEE, resultantes do maior número de animais. No entanto, o efeito líquido foi de redução da intensidade de emissão de GEE em 4%.

#### **4.9 Baixa produção de CH<sub>4</sub>**

A seleção de animais para baixa produção de CH<sub>4</sub> é uma estratégia do melhoramento genético na eficiência do rebanho para a mitigação de GEE. Atualmente a seleção desses animais pode ser através de estudos utilizando metodologias diretas ou indiretas. Estudos relacionados a essa característica utilizam metodologias que medem a taxa e intensidade de emissão de CH<sub>4</sub> por bovinos individualmente. Algumas metodologias são bem conhecidas, como a câmara respirométrica, utilização de um gás traçador, o SF<sub>6</sub>, e uso de

laser portátil a campo.

A reprodução de animais com baixa produção de CH<sub>4</sub> é uma potencial estratégia, pois esse fenótipo é repetível e hereditário (BES et al., 2022). Donoghue et al. (2016) avaliaram a produção de CH<sub>4</sub> em câmaras respirométricas para bovinos da raça Angus, onde as características estudadas foram IMS durante o período de medição, produção e rendimento de CH<sub>4</sub>. Os autores obtiveram as seguintes médias, 6,1 kg/d , 132 g/d e 22,0 g/kg de IMS, respectivamente. Os mesmos autores concluíram que a seleção para rendimento de CH<sub>4</sub> levaria a uma menor produção de CH<sub>4</sub> sem afetar a produtividade animal.

Em novo estudo, Donoghue et al. (2020) avaliaram dados de 1096 touros e novilhas jovens da raça Angus. Nesse estudo foram investigadas relações fenotípicas e genéticas entre produção de CO<sub>2</sub>, emissão de CH<sub>4</sub>, consumo de ração e características pós-desmame. As médias da taxa de produção de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, foram  $3.010 \pm 589$  g/d e  $132,8 \pm 25,2$  g/d, respectivamente. Houve uma forte correlação genética entre produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> em relação ao consumo de ração e também entre a taxa de produção de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, de 0,75. Estes resultados indicam que a seleção de animais mais eficientes tendem a produzir menos CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, pois estes indivíduos precisam consumir menos ração para produzirem unidade de produto, e pelo consumo de ração está correlacionado com a produção de GEE.

Nkrumah et al. (2006) em estudo realizado selecionaram novilhos e classificaram em valores de alto CAR, médio CAR e baixo CAR . Os autores constaram uma correlação entre CAR com a produção diária de CH<sub>4</sub> ( $r = 0,44$ ;  $P < 0,05$ ), sendo produzido 28 e 24% de CH<sub>4</sub> a menos, quando comparado os animais de baixo CAR em relação aos animais de alto e médio CAR, respectivamente. Segundo o estudo, esses resultados têm implicações práticas para a seleção de animais que consomem menos em um peso e taxa de crescimento semelhantes, e para a sustentabilidade ambiental da produção de carne bovina.

## 5 PARAMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS USADAS NA MITIGAÇÃO DE GEE

Existem diversos fatores importantes para a seleção de características no melhoramento genético animal. A herdabilidade é um ponto importante, podendo ser utilizada para prever o valor de uma característica e se essa é afetada por fatores genéticos ou do ambiente a qual os animais estão inseridos. A herdabilidade é a razão da variância genética aditiva sobre a variância fenotípica total, ou seja, a parte herdável da variabilidade total. Assim, quanto maior a herdabilidade (Tabela 2), maior parte da variância observada da população é resultante da variação dos valores genéticos. A herdabilidade, por ser um conceito baseado em parâmetros estatísticos, pode variar de uma geração para outra e entre diferentes populações, onde cada população possui uma variância genética aditiva específica, e por haver a variação do ambiente a que cada população é submetida possui suas particularidades. (FELIPE, 2018).

Tabela 2 - Estimativas de herdabilidade ( $h^2$ ) e desvio padrão fenotípico (Dp) para as características de consumo alimentar residual (CAR), ingestão de matéria seca (IMS), peso aos 210 dias (P210), peso aos 365 dias (P365), peso aos 550 dias (P550), ganho médio diário (GMD), idade ao primeiro parto (IPP), longevidade (LV), rendimento de carcaça (RC) e produção de metano (PCH<sub>4</sub>).

Variáveis	$h^2$	Desvio Padrão (Dp)	Autores
CAR (kg)	0,22	0,73	GOMES (2021)
IMS (kg)	0,29	0,97	GOMES (2021)
P210 (kg)	0,23	30,1	GRION (2012)
P365 (kg)	0,44	42,2	MOREIRA et al. (2015)
P550 (kg)	0,34	21,3	FERRIANI et al.(2013)
GMD (kg/d)	0,46	0,23	GRION (2012)
IPP (meses)	0,15	6,02	GRUPIONI et al. (2015)
LV (dias)	0,02	60,1	ZETOUNE (2018)
RC(kg)	0,13	2.24	FERRIANI et al. (2013)
PCH <sub>4</sub> (g/d)	0,27	25	DONOGHUE et al., (2016)

Fonte: Adaptado de Gomes (2021); Grion (2012); Moreira et al. (2015); Ferriani et al. (2013); Groupioni et al. (2015); Zetoune (2018); Donoughue et al. (2016).

As características podem apresentar grande amplitude de valores fenotípicos, essas variações estão ligadas a fatores genéticos ou do ambiente. Os resultados das características relacionadas à emissão de CH<sub>4</sub> obtidas em câmaras respiratórias exibem estimativas de herdabilidade baixas a moderadas em bovinos de corte *Bos taurus* (0,19 a 0,30) (DONOGHUE et al., 2016; MANZANILLA-PECH et al., 2016). Souza et al. (2021) em estudo realizado com bovinos da raça Nelore utilizando a técnica SF<sub>6</sub>, obtiveram estimativas de herdabilidade para emissão de CH<sub>4</sub>, variando entre 0,10 a 0,42.

Correlações genéticas entre estas características também devem ser levadas em conta no planejamento de programas de melhoramento. A correlação genética indica o quanto o valor genético de uma característica está relacionado com o valor genético de outra. A seleção para diminuir a emissão de CH<sub>4</sub> será mais rápida e eficaz se os animais forem selecionados a partir de características altamente correlacionadas com a emissão de CH<sub>4</sub>, como a IMS, ou mesmo diretamente com a emissão de CH<sub>4</sub> (HAYES et al., 2013).

Em estudo realizado por Bes et al. (2022), a produção de CH<sub>4</sub> diário, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> (g/d) foi correlacionada positivamente com o CAR. Donoghue et al. (2016) afirmam que o CH<sub>4</sub> está geneticamente relacionado com as características de peso ao desmame, peso ao sobreano, peso final (20 meses de idade) e CMS em bovinos de corte *Bos taurus*, tendo valores entre 0,79 a 0,86. A relação positiva entre as emissões absolutas de CH<sub>4</sub> e o CAR destacou a seleção de animais com baixa produção de CH<sub>4</sub> e de crescimento eficiente quando alimentados com dietas de alta energia ricas em amido ou fibras (BES et al., 2022).

A seleção de animais com baixa produção de CH<sub>4</sub> é uma estratégia interessante para reduzir essas emissões no longo prazo, desde que não comprometa as características de produção e eficiência alimentar. Bes et al. (2022) reportaram uma correlação significativamente negativa entre as características emissão de CH<sub>4</sub> em g/kg de GMD e ganho residual ( $r_g = -0,74$ ) e eficiência de conversão alimentar ( $r_g = -0,82$ ).

A partir dessas informações de herdabilidade e correlação genética pode ser calculado o ganho genético (Tabela 3) relacionado a uma determinada característica. O ganho genético está relacionado com a intensidade de seleção que é aplicada dentro de uma população de indivíduos. Dito isso, pode ser calculado o ganho genético predito para seleção direta e indireta para produção de GEE utilizando as seguintes fórmulas:

Seleção direta ( $\Delta G: i \times h^2_1 \times Dp^1$ ) e seleção indireta ( $\Delta G: r_g \times \sqrt{h^2_1} \times \sqrt{h^2_2} \times i \times Dp^1$ ), onde:

-  $\Delta G$  ganho genético para a característica produção de CH<sub>4</sub>;

- $i$  intensidade de seleção;
- $h^2$  herdabilidade para produção de CH ;
- $h^2$  herdabilidade para característica correlacionada com a produção de CH<sub>4</sub>;
- $Dp^1$  desvio padrão fenotípico para produção de CH<sub>4</sub>;
- $r_g$  correlação genética da característica selecionada com a produção de CH<sub>4</sub>.

Tabela 3 - Ganho genético predito para seleção direta e indireta para produção de GEE (g/d), das características, produção de metano (PCH<sub>4</sub>), consumo alimentar residual (CAR), ingestão de matéria seca (IMS), longevidade (LV), ganho médio diário (GMD) e peso aos 365 dias (P365), utilizando correlação genética ( $r_g$ ) herdabilidade ( $h^2$ ) e intensidade de seleção ( $i$ ).

Variáveis	$r_g$	$h^2$	Intensidade de seleção ( $i$ )		
			1,76 (10%)	2,06 (5%)	2,67 (1%)
PCH <sub>4</sub>		0,27	11,88	13,90	18,02
CAR	0,44	0,22	4,71	5,52	7,16
IMS	0,41	0,29	5,05	5,91	7,67
LV	0,28	0,02	0,90	1,06	1,37
GMD	-0,74	0,46	-11,47	-13,43	-17,41
P365	0,80	0,44	12,13	14,20	18,41

Fonte: Adaptado de Bes et al. (2022); Nkrumah et al. (2006); Donoghue et al. (2020); Moreira et al. (2015); Grion (2012), Zetoune (2018); Gomes (2021).

Os ganhos na redução da produção de CH<sub>4</sub> associada à genética do hospedeiro são permanentes e cumulativos (HAAS et al., 2017). Algumas características irão ter correlações genéticas negativas, como a eficiência alimentar, onde a seleção para essa característica pode influenciar na redução da produção de CH<sub>4</sub>. Correlações positivas exercem efeito contrário em relação às negativas, e podem exercer efeitos negativos para a redução de CH<sub>4</sub>, mesmo que se tenha ganho em produtividade. Em contrapartida, a produtividade pode ser compensada com a diluição da manutenção em mais kg de unidades produzidas, reduzindo a necessidade total de energia por kg de carne produzida e, portanto, menor emissão por unidade de um produto (FAVERDIN et al., 2022). Por tanto, o ganho genético em algumas características pode ser compensado, mesmo influenciando positivamente na produção de CH<sub>4</sub>. A seleção para diminuir o CH<sub>4</sub> invariavelmente pode levar à seleção para menor crescimento e consumo de

ração, diminuindo a produtividade animal (FERNANDES JÚNIOR et al., 2022).

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A seleção de características para melhoria da eficiência e sustentabilidade da produção tem se tornado cada vez mais uma ferramenta útil para mitigação de GEE. Estudos demonstram que o melhoramento genético animal aliado a uma maior eficiência da produção resulta em uma redução do impacto ambiental causada pela produção de bovinos de corte mundo afora. Dito isso, a genética é um importante fator dentro do sistema de produção, onde animais com alto valor genético para características de interesse econômico têm demonstrado também respostas a critério de impacto ambiental.

A realização de mais estudos são necessários para a utilização dessas características como critério de seleção para a melhora do sistema produtivo, tal como economicamente quanto sustentável. Em geral, quando se tem uma melhora nos pontos-chaves de produção, reprodutivo, nutricional e genético, pode ser alcançada uma eficiência do sistema e conseqüentemente uma melhora na sustentabilidade

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES: **Estatística**: exportações gerais. São Paulo: ABIEC, 2023. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/home/>. Acesso em: 31 de julho de 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040 2009**: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. São Paulo: ABNT, 2009.
- BASARAB, K.A. et al. Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: effects on economically important traits and enteric methane production. **Animal**, v. 7, n. 2, p. 303-315, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731113000888>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- BASARAB J.A. et al. Genomic retained heterosis effects on fertility and lifetime productivity in beef heifers. **Can. J. Anim. Sci.**, v. 98, n.4, p. 642–655, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0192>. Acesso em: 31 de julho de 2023.
- BEAUCHEMIN, K. A. et al. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada – Evaluation using farm-based life cycle assessment **Animal Feed Science and Technol.**, v. 166–167, p. 663-677, 23 jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.047>. Acesso em: 9 de junho de 2023.
- BERNDT et al. Eficiência Produtiva e Impacto Ambiental na Produção de Ruminantes. *In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES NO CERRADO*, 4., 2018, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia - MG: UFU, 2018. p. 85-96.
- BES, A. et al. Individual methane emissions (and other gas flows) are repeatable and their relationships with feed efficiency are similar across two contrasting diets in growing bulls. **animal**, v. 16, n. 8, Aug. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100583>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. DOFF SOTTA, E.; SAMPAIO, F. G. COSTA, M. S. N. (org). **Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira**. 1 ed. Brasília: MAPA/SENAR, 2020.
- BRUNES, L.C.; COUTO, V.R.M. Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de produção de bovinos de corte. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 66, n. 254, p. 287-299, 2017.
- CASAGRANDE, Y. G. et al. Emergent Research Themes on Sustainability in the Beef Cattle Industry in Brazil: An Integrative Literature Review. **Sustainability**, v. 15, n. 5, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15054670>. Acesso em: 01 de agosto de 2023.
- CHAGUNDA, M. G. G. Opportunities and challenges in the use of the Laser Methane Detector to monitor enteric methane emissions from ruminants. **Animal**, v. 7, n. 2, p. 394-400, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731113000724>. Acesso em: 30 de junho de 2023.
- CRUZ, G. M; MIRANDA, S. H. G. Reflexões para uma pecuária mais sustentável. **Revista política agrícola**, v.31, n. 4, p. 152-157, dec. 2022.

CUMMINS, L. J. et al. Developing twinning cattle for commercial production. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 7, p. 930-934, 2008.

DAY, M.L.; NOGUEIRA, G. P. Management of age at puberty in beef heifers to optimize efficiency of beef production. **Animal Frontiers**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 6–11, Oct. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/af.2013-0027>. Acesso em: jun. de 2023

D'AUREA A. P, et al. Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Production in Brazil through Animal Management. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p.7207, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13137207>. Acesso em: 21 jun.de 2023.

DISKIN, M.G.; KENNY. D.A. Optimizing reproductive performance of beef cows and replacement heifers. **Animal**, v. 1, n.1, p. 27-39, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S175173111400086X>. Acesso em: 25 de agosto de 2023.

DISKIN, M. G; KENNY, D.A. Managing the reproductive performance of beef cows. **Theriogenology**, v. 86, n. 1, p. 379-387, 1 jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.052>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

DONOGHUE, K. A. et al. Genetic and phenotypic variance and covariance components for methane emission and postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 4, p. 1438–1445, apr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0065>. Acesso em: 21 jun. 2023.

DONOGHUE, K. A. et al.Genetic variance and covariance components for carbon dioxide production and postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 9, sept. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa253>. Acesso em: 21 jun. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pastagens**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Technical conversion factor for agriculture commodities**. Roma: FAO, p.782., 2013.

FAVERDIN, P. et al. Animal board invited review: Specializing and intensifying cattle production for better efficiency and less global warming: contrasting results for milk and meat co-production at different scales. **Animal**, v. 16, n. 1, jan. 2022.

Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100431>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

FELIPE, E.F. **Meta-análise em estimativas de herdabilidade de características de crescimento em bovinos da raça nelore**. Monografia (curso de Zootecnia) Faculdade de medicina veterinária, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia - MG, 2018.

FERNANDES JÚNIOR, E. **Pegada de carbono e uso da terra da produção de bovinos em sistemas produtivos extensivo, intensivo e orgânico**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal - SP, 2019.

FERNANDES JÚNIOR et al. Current applications and perspectives of genomic selection in *Bos indicus* (Nelore) cattle. **Livestock Science**, v. 263, sept. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105001>. Acesso em: 31 de julho de 2023.

FERRIANI, L. et al. Genetic parameters of carcass and growth traits of nelore cattle. **Arch. Zootec.**, v. 62, n. 237, p. 123-129, 2013.

FIGUEIREDO, E.B. et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production.**, v. 142, n. 1, p. 420-431, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>. Acesso em: 05 de setembro de 2023.

FITZSIMONS, C. et al. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 12, p. 5789–5800, dec. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6956>. Acesso em: 28 de junho de 2023.

GOMES, M. M. A. **Associação Genética entre Eficiência Alimentar e as Características de Carcaça em Bovinos da Raça Nelore**. 2021. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Acesso em: DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.42>. Acesso em: 21 jun 2023.

GRION, A.L. **Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte**. 2012. 92f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2012.

GRUPIONI, N. V. et al. Parâmetros genéticos e tendências genéticas para características reprodutivas e de crescimento testicular em bovinos guzerá. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 152–160, abr/jun. 2015. Disponível em: <http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema>. Acesso em: 21 jun. 23.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatísticas econômicas: Agricultura, pecuária e outros: PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 2 de agosto de 2023.

HAMMOND, K. J. et al. 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.

HAAS, et al. Invited review: Phenotypes to genetically reduce greenhouse gas emissions in dairying. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n.2, p. 855-870, feb. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

HAYES, B. J. et al. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. **Trends Genet.**, v. 29, n. 4, p. 206-214, apr. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2012.11.009>. Acesso em: 31 de julho de 2023.

HEGARTY, et al. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **J. Anim. Sci.**, v 85, p.1479-1486, 2007. disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>. Acesso em: 30 de julho de 2023.

HEGARTY, R. S. Applicability of short-term emission measurements for on-farm quantification of enteric methane. **Animal**, v. 7, n. 2, p. 401-408, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731113000839>. Acesso em: 30 de junho de 2023.

HILL, C. J. et al., 2016. Review: Measuring methane production from ruminants. **Trends Biotechnol.**, v. 34, p. 26-35, 2016. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10.1016/j.tibtech.2015.10.004>. Acesso em: 30 de junho de 2023.

HUHTANEN, P. et al. Enteric methane emission can be reliably measured by the GreenFeed monitoring unit. **Livestock Science**, v. 222, p. 31-40, apr. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141318305079>. Acesso em: 31 de julho de 2023.

JOHNSON, J. R. Associations between residual feed intake and apparent nutrient digestibility, in vitro methane-producing activity, and volatile fatty acid concentrations in growing beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 8, p. 3550–3561, aug. 2019. Disponível em; <https://doi.org/10.1093/jas/skz195>. Acesso em: 28 de junho de 2023.

JONES, F. M. et al. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166–167, p.302-307, 23 jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.020>. Acesso em: jun. 2023.

LAZARI, T. A. et al. Emissão de metano na recria e terminação de bovinos sob diferentes níveis de tecnologia. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, Maringá, v. 12 n. 3, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019/v12n3p981-998>. Acesso em: 01 de agosto de 2023.

LLONCH, P. et al. Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. **Animal**, Cambridge, v. 11, n. 2, p. 274-284, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>. Acesso em: 21 jun. de 2023.

MANZANILLA-PECH, C. V. J. et al. Genomewide association study of methane emissions in angus beef cattle with validation in dairy cattle. **J. Anim. Sci.**, v. 94, n.10, p. 4151-4166, Oct. 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84992494124&origin=inward&txGid=a1cbbdbd9ddd234f19a293ffbcd6ffa0>. Acesso em: 21 de junho. 2023.

MCAULIFFE, G. **Data to calculate emissions intensity for individual beef cattle reared on pasture-based production systems.** Data in Brief, v. 17, p. 570-574, 2018.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.** Brasília: MCTI. p.135, 2022.

MÉO FILHO, P. **Consumo, desempenho, emissão de metano e características de carcaça em novilhas da raça canchim recriados a pasto e terminados em confinamento.** 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado - programa de pós graduação em zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

MOREIRA et al. Estimativas de (co)variâncias e parâmetros genéticos para pesos calculados aos 120 e 240 dias de idade de bovinos da raça Nelore Mocho. *In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 49. 2012, Brasília. **Anais...** Brasília: SBZ, 2012.

MOIOLI et al. Genetic parameters and genome-wide associations of twinning rate in a local breed, the Maremmana cattle. **Animal**, v. 11, n. 10, p.1660-1666, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731117000283>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

NAGARAJA, T. G. A Microbiologist's View on Improving Nutrient Utilization in Ruminants. *In: FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM*, 30., 2019, Florida. **Annual Meeting.** Florida: UF, 2019. p. 120-136.

NGUYEN, et al. Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level, **Journal of Environmental Management**, v. 120, p. 127-13, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.028>. Acesso em: jun. 2023.

NKRUMAH, J. D. et al. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 1, p.145-153, january 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2006.841145x>. Acesso em: 21 jun. 2023.

NORRIS, F. Máscara de vaca: Startup inglesa cria máscara para bois e vacas que transforma arroteo em vapor d'água e reduz efeito estufa. Entrevista concedida a Viviane Taguchi, **UOL**, São Paulo, 15 jun. 2021. Disponível em: [uol.com.br](http://uol.com.br). Acesso em: 28 de junho de 2023.

OLIVEIRA, L. F. **Consumo alimentar residual e produção de metano entérico de bovinos em confinamento e pastagem.** 2014. iii, 46 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). **Animal**, v. 14, n. 3, p. 427-437, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731120001822>. Acesso em: 01 de agosto de 2023.

OSS, D. B. et al. An evaluation of the face mask system based on short-term measurements compared with the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer, and respiration chamber techniques for measuring CH<sub>4</sub> emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 216, p. 49-57, jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.008>. Acesso em: 30 de junho de 2023.

- PEREIRA, D. H; PEDREIRA, B. C. Recuperação de pastagens. *In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA*, 2., 2016, Sinop. **Anais do 2º Simpósio de Pecuária Integrada**. Cuiabá - MT: Fundação UNISELVA, 2016.
- PLACE, S. E.; MITLOEHNER, F. M. The nexus of environmental quality and livestock welfare. **Annu Rev Anim Biosci**. v. 2, p. 555-69, 6 sept. 2014. Disponível em: doi:10.1146/annurev-animal-022513-114242. Acesso em: 30 de junho de 2023.
- ROTZ, C. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 6675-6690, 2017.
- 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, University of São Paulo, Pirassununga, 2018.
- SAKATANI, M. [The role of reproductive biology in SDGs] Global warming and cattle reproduction: Will increase in cattle numbers progress to global warming?. **Journal of Reproduction and Development**, Japan, v. 68, n. 2, p. 90-95, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1262/jrd.2021-149>. Acesso em: jun. 2023.
- SAMSONSTUEN, S. et al. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef cattle production systems. **Acta Agricultura Scandinavica**, v. 69, n. 4, p. 220-232, 2020. Disponível em: DOI: 10.1080/09064702.2020.1806349. Acesso em: jun. 2023.
- SILVA, R. R. **Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos**. 2011. 61 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - UFMG, Belo Horizonte, 2011.
- SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Emissões totais**: São Paulo: SEEG. Disponível em: [https://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission). Acesso em: 01 de agosto de 2023
- SORG, D. et al. Comparison of a laser methane detector with the GreenFeed and two breath analysers for on-farm measurements of methane emissions from dairy cows. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 153, p. 285-294, oct. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.024>. Acesso em: 02 de agosto de 2023.
- SOUZA, L. L. **Herdabilidade e estudo de associação genômica de características de emissão de metano em bovinos da raça Nelore**. 2023. 50 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2023.
- SOUZA, L.L. Estimativas de herdabilidade de características de emissão de metano entérico em bovinos de corte. **Anais da 56ª Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Florianópolis-SC, Brasil, 2021.
- STRANDÉN, I. et al. Animal board invited review: Genomic-based improvement of cattle in response to climate change **Animal**, v. 16, n. 12, dec. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100673>. Acesso em: 23 de junho de 2023.

WANG, T. et al. GHG Mitigation potential of different grazing strategies in the United States Southern great plains. **Sustainability**, v. 7, n. 10, p. 30, sept. 2015.

WALL, E.; SIMM, G.; MORAN, D. Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 366–376, 2010. Disponível em: doi:10.1017/S175173110999070X. Acesso em: 23 de agosto de 2023.

WHITE, R. R. et al. Reproductive, genetic and nutritional management of calves to improve the sustainability of whole beef production systems. **J. Anim. Sci.** v. 93, p. 3197–3211, 2013. Disponível em: doi:10.2527/jas.2014-8800. Acesso em: 09 de junho. 2023.

TERRY, S. A. et al. Strategies to improve the efficiency of beef cattle production. **Revista Canadian Journal of Animal Science.** v.101, n.1, p.1-19, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0022>. Acesso em: junho de 2023.

THOMPSON L. R. ; J. E. R. PAS Invited Review: Methane sources, quantification, and mitigation in grazing beef systems. **Applied Animal Science**, v. 36, n. 4, p. 556-573, Aug. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01951>. Acesso em: 30 de junho de 2023.

ZETOUNE, L. et al. Genetic correlations between methane production and fertility, health, and body type traits in danish Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n, 3, p. 2273-2280, mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13402>. Acesso em: 21 jun. 2023.